



**Rui Pedro Mendes
Xavier**

Ensaaios de caracterização de alvenarias de adobe



**Rui Pedro Mendes
Xavier**

Ensaaios de caracterização de alvenarias de adobe

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutora Margarida João Fernandes De Pinho Lopes
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes
professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa
professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente
professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A elaboração desta dissertação a nome individual, nada seria sem um colectivo forte.

Resta-me pois deixar o profundo agradecimento:

Ao Professor Doutor Romeu Vicente agradeço toda a disponibilidade, ensinamentos e sugestões práticas que me incutiu durante a realização dos trabalhos experimentais.

Ao Professor Doutor Aníbal Costa pela orientação e partilha de conhecimentos.

Ao Mestre António Figueiredo pelo acompanhamento, disponibilidade e transmissão de conhecimentos nas campanhas de ensaios realizadas.

Aos proprietários dos edifícios ensaiados pela disponibilidade e auxílio.

Aos meus amigos, irmão e cunhada pelo apoio incondicional, incentivo e disponibilidade.

E por fim, aos meus pais pela paciência, confiança e apoio sem os quais nada seria possível...

palavras-chave

Construção em terra, Adobe, Ensaio de Macacos Planos, Secção dos macacos planos

resumo

A construção em terra é uma técnica milenar vastamente divulgada pelo mundo, pelas características únicas do material utilizado.

Neste contexto, a construção de adobe assume um registo significativo na região de Aveiro, constituindo entre 20 a 25% dos edifícios no concelho e entre 35 a 40% do distrito [1].

Pese embora as características únicas deste material, a partir da segunda metade do século XX, com o avanço da tecnologia e da técnica, abandonou-se esta técnica, levando à degradação, abandono e demolição de muito do património edificado em adobe.

Devido ao estado actual do edificado de adobe e a uma maior consciência de reabilitação e conservação do património, torna-se necessária a realização de campanhas de caracterização mecânica deste material.

A realização de ensaios não destrutivos e semi-destrutivos revela grande interesse neste contexto, visto permitir a caracterização mecânica e a obtenção das propriedades dos materiais sem causar dano permanente à estrutura. Neste leque de possíveis ensaios destaca-se os ensaios com macacos planos.

Neste âmbito, a realização desta dissertação centrou-se no estudo da importância da secção dos macacos, utilizados na realização dos ensaios e nos resultados obtidos.

Foi também objecto deste trabalho, arranjar novas alternativas do procedimento experimental relativo ao ensaio simples, de forma a melhorias nos resultados obtidos.

Por consequência das campanhas de ensaios realizadas foi ainda alargada a base de conhecimento sobre as características do adobe como material de construção.

keywords

Earth construction, Adobe, Flat-jack testing, Flat-jack section

abstract

Earth construction is an ancient technique widely disseminated throughout the world, for the unique characteristics of the material used.

In this context, the adobe building assumes a significant record in the Aveiro region, making up between 20 to 25% of buildings in the county and between 35 and 40% of the Aveiro district [1].

Despite the unique characteristics of this material from the second half of the twentieth century with the improvement of technology and technique, the adobe construction technique was abandoned, leading to degradation, aging and demolition of much of the built heritage.

Due to the current state of the adobe buildings and a greater awareness of heritage conservation and rehabilitation, it is necessary to carry out campaigns of mechanical characterization of this material.

The non-destructive testing and semi-destructive testing shows great interest in this context, as it allows the characterization of mechanical and material properties without causing permanent damage to the structure. In this range of possible test stands out the flat-jack testing.

In this context, the realization of this dissertation focused on the study of the importance of the cross section of the flat-jacks used in the tests and to the results obtained.

It was also the subject of this thesis to identify and improve, get new alternative experimental procedure for the simple flat jack testing, so as to improve the results.

As a result of the test campaigns conducted contributed to the extended knowledge base characteristics of adobe as a building material.

Índice geral:**Agradecimentos****Resumo****Abstract**

Índice de texto.....	xiii
Índice de figuras	xvii
Índice de tabelas	xx
Simbologia	xxi

Índice de texto

1. Enquadramento, objectivos e organização da dissertação	3
1.1 Enquadramento	3
1.2 Objectivos da dissertação	3
1.3 Organização da dissertação	4
2. Construção em terra	9
2.1 Técnicas de construção em terra	9
2.1.1. Tabique	10
2.1.2. Taipa	11
2.1.3 Bloco de Terra Comprimida (BTC).....	12
2.1.4 Adobe	13
3. Ensaios com macacos planos	25
3.1. Introdução	25
3.2. Ensaio de macacos planos ("Flat-Jack Testing")	26
3.2.1 Enquadramento	26

3.2.2	Caracterização mecânica de alvenarias	27
3.3	Descrição dos macacos planos	27
3.4	Equipamento de ensaio	29
3.5	Ensaio Simples e Ensaio Duplos.....	32
3.5.1	Ensaio simples	32
3.5.2	Ensaio duplos.....	32
3.6	Execução das zonas de ensaio	32
3.7	Sistemas de pressurização	33
3.8	Sistemas de medição de deslocamentos.....	33
3.9	Calibração dos macacos e factor de calibração (k_m).....	35
3.10	Determinação do valor de k_a	36
3.11	Pressupostos do Ensaio	37
3.12	Procedimentos dos ensaios com macacos planos	37
3.13	Interpretação dos Resultados do Ensaio	43
3.13.1	Ensaio simples.....	43
3.13.2	Ensaio duplos.....	43
3.14	Condicionantes a ter em conta nos resultados finais	44
4.	Caracterização dos edifícios estudados	49
4.1.	Enquadramento	49
4.2.	Descrição dos ensaios efectuados	49
4.3.	Caracterização dos edifícios estudados.....	50
4.4.	Estimativa das tensões instaladas	54
4.4.1	Cálculo da estimativa de tensões instaladas nas paredes referentes ao edifício A ..	56
4.4.2	Cálculo da estimativa de tensões no edifício B	57
4.4.3	Cálculo da estimativa de tensões no edifício C.....	59

5. Campanha experimental.....	63
5.1. Enquadramento e objectivos.....	63
5.2. Cálculo do parâmetro km	64
5.3. Cálculo do parâmetro ka	66
5.4. Ensaio simples	66
5.4.1 Descrição	66
5.4.2 Tratamento dos resultados	66
5.4.3 Estimativa das tensões instaladas	68
5.4.4 Análise dos resultados	75
5.5. Ensaio duplo	76
5.5.1 Descrição	76
5.5.2 Resultados obtidos	77
5.5.3 Coeficiente de Poisson (ν) e módulo de Elasticidade (E_0)	82
5.6. Influência da secção dos macacos planos nos resultados obtidos	89
5.7. Influência da presença de humidade nos ensaios realizados	92
5.8. Alteração do protocolo de ensaios com macacos planos simples	92
6. Conclusões, comentários finais e perspectivas futuras de trabalho	99
6.1. Síntese do trabalho realizado	99
6.1.1. Breve descrição do trabalho realizado	99
6.1.2. Avaliação dos resultados	99
6.1.3. Conclusões e comentários finais	100
6.1.3.1. Construção em terra	100
6.1.3.2. Resultados obtidos na realização de ensaios com macacos planos.....	100
6.1.3.3. Alteração do protocolo do ensaio simples.....	102
6.2. Perspectivas futuras de trabalho.....	102
Referências Bibliográficas	107

Anexo A – Cálculo do Parâmetro k_m	113
Anexo B – Cálculo do parâmetro k_a.....	125
B.1 – Ensaio simples.....	125
B.1.1 – Edifício A	125
B.1.2 - Edifício B	126
B.1.3 - Edifício C	127
B.2 – Ensaio duplo	128
B.2.1 – Edifício A	129
B.2.2 – Edifício B	130
B.2.3 – Edifício C	131
Anexo C – Ensaio simples com macacos planos	135
Anexo D – Ensaio duplo com macacos planos	141

Índice de figuras

Figura 1: Distribuição espacial de construção em terra no mundo [3]	9
Figura 2: Parede de tabique	11
Figura 3: Execução de parede de taipa [4]	12
Figura 4: Construção de alvenaria resistente em BTC [7]	13
Figura 5: Adobadeira e pilão	14
Figura 6: Formas de disposição de alvenarias de tijolo a) Assente à meia vez; b) Assente a uma vez [9].....	16
Figura 7: Fundação de parede de adobe sobre pedra [10]	17
Figura 8: Caixa-de-ar efectuadas em edifícios de adobe.....	17
Figura 9: Pormenores de execução de cobertura	18
Figura 10: Revestimentos em edifícios de adobe	19
Figura 11: Construção em terra em Portugal [12]	21
Figura 12: Construções em adobe no distrito de Aveiro	22
Figura 13: Configurações geométricas dos macacos	28
Figura 14: Dimensões dos macacos (adaptado de [17]).....	29
Figura 15: Material necessário para a execução dos ensaios	31
Figura 16: Métodos de abertura de zonas de ensaio [17]	33
Figura 17: Sistemas de medição dos deslocamentos: a) Alongâmetro [adaptado de [10]; b) Potenciómetros tipo Gefran	35
Figura 18: Esquema de execução de ensaios simples: a)fixação das miras e leituras das distâncias iniciais antes da abertura dos rasgos; b) leituras das distâncias após abertura dos rasgos; c) pressurização dos macacos até se obterem as distâncias iniciais [17]	38
Figura 19: Esquema geral do protocolo do ensaio simples.....	39
Figura 20: Visão geral da realização de um ensaio simples	40
Figura 21: Protocolo do ensaio duplo	41
Figura 22: Realização de ensaio duplo.....	42
Figura 23: Esquema de ensaio ao esforço transversal com macacos planos [20]	43
Figura 24: Alçado frontal do edifício A	51
Figura 25: Alçado frontal do edifício B	52
Figura 26: Vista geral edifício C	53

Figura 27: Localização geográfica dos edifícios estudados	54
Figura 28: Exemplo de determinação da área efectiva de carregamento com recurso a papel químico	66
Figura 29: Esquema de apresentação dos resultados dos ensaios simples	68
Figura 30: Estimativa da tensão instalada para o ensaio simples nº 4	70
Figura 31: Estimativa da tensão instalada para o ensaio simples nº 5	72
Figura 32: Estimativa das tensões instaladas para ensaio simples nº 6	74
Figura 33: Resultados do ensaio duplo nº1	79
Figura 34: Resultados do ensaio duplo nº 2	80
Figura 35: Resultados do ensaio duplo nº 3	81
Figura 36: Pormenor da zona de arranque da parede de alvenaria e a fundação na zona do ensaio duplo 3	82
Figura 37: Cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 1	83
Figura 38: Cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 2	84
Figura 39: Cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 3	85
Figura 40: Exemplo de cálculo do módulo de elasticidade pelo RILEM	86
Figura 41: Esquema de cálculo do módulo de elasticidade	87
Figura 42: Distribuição de pressões no interior do macaco plano durante a realização do ensaio duplo	91
Figura 43: Novo procedimento experimental para o ensaio simples	94
Figura 44: Prensa digital usada para calibração dos macacos planos	113
Figura 45: Áreas efectivas de carregamento para ensaio simples no edifício A	125
Figura 46: Áreas efectivas de carregamento para ensaio simples no edifício B	126
Figura 47: Áreas efectivas de carregamento para ensaio simples no edifício C	127
Figura 48: Áreas efectivas de carregamento para ensaio duplo no edifício A	129
Figura 49: Áreas efectivas de carregamento para ensaio duplo no edifício B	130
Figura 50: Áreas efectivas de carregamento para ensaio duplo no edifício	131
Figura 51: Estimativa de tensões instaladas para o ensaio simples nº 7	136
Figura 52: Estimativa de tensões instaladas para o ensaio simples nº 8	137
Figura 53: Estimativa de tensões instaladas para o ensaio simples nº 9	138
Figura 54: Esquema de apresentação dos resultados dos ensaios duplos	141
Figura 55: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 4	142

Figura 56: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 5.....	143
Figura 57: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 6.....	144
Figura 58: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 7.....	145
Figura 59: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 8.....	146

Índice de tabelas

Tabela 1: Dimensões dos blocos de adobe segundo diversos autores [1,8].	15
Tabela 2: Síntese dos ensaios realizados	63
Tabela 3: Valores obtidos na calibração de macaco plano MR1	65
Tabela 4: Quadro resumo dos valores obtidos na calibração dos diversos macacos planos	65
Tabela 5: Valores dos parâmetros k_m e k_a para os ensaios simples realizados	67
Tabela 6: Identificação do número de ensaios simples realizados	68
Tabela 7: Resultados globais dos ensaios simples realizados	76
Tabela 8: Identificação dos ensaios duplos realizados	77
Tabela 9: Valores dos parâmetros k_a e k_m para os ensaios duplos realizados	78
Tabela 10: Quadro resumo dos resultados obtidos para os ensaios duplos	87
Tabela 11: Comparação dos resultados de tensões obtidas	89
Tabela 12: Variação dos resultados obtidos nos ensaios simples em relação ao valor estimado por cálculo	90
Tabela 13: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MR2	114
Tabela 14: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MR3	115
Tabela 15: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MR4	116
Tabela 16: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MR5	117
Tabela 17: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MSO2	118
Tabela 18: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MSO4	119
Tabela 19: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MSC1	120
Tabela 20: Cálculo do parâmetro k_m para o macaco plano MSC3	121
Tabela 21: Valores de k_a 's corrigidos médios para ensaios simples no edifício A	126
Tabela 22: Valores de k_a 's corrigidos médios para ensaios simples no edifício B	127
Tabela 23: Valores de k_a 's corrigidos médios para ensaios simples no edifício C	128
Tabela 24: Valores de k_a 's médios para ensaios duplos no edifício A	129
Tabela 25: Valores de k_a 's médios para ensaios duplos no edifício B	131
Tabela 26: Valores de k_a 's médios para ensaios duplos no edifício C	132

Simbologia

A_c	Área de carregamento dos macacos planos obtida através da leitura dos registos com recurso a papel químico
d	Distância entre miras que definem um alinhamento vertical
d_i	Distância inicial entre miras que definem um alinhamento vertical
E_0	Módulo de elasticidade inicial
ka	Constante que traduz a relação entre a área do macaco e a área do rasgo (de acordo com a norma ASTM C1197-91 [1991])
km	Constante que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico, determinada no procedimento de calibração (de acordo com a norma ASTM C1197-91 [1991])
L_f	Distância final medida entre pontos de controlo
L_i	Distância inicial medida entre pontos de controlo
p	Pressão medida no manómetro da bomba que pressuriza os macacos
ε	Extensão média estimada
ε_L	Extensão lateral
ε_V	Extensão vertical
γ	Peso específico médio de alguns materiais
ν	Coefficiente de Poisson
σ_m	Tensão média
σ_i	Tensão normal instalada
$\sigma_{máx}$	Tensão máxima atingida no ensaio
PP	Peso Próprio
h_p	Altura da parede
h_e	Altura da zona de corte da junta para realização do ensaio
e_p	Espessura da parede de alvenaria
P	Peso dos materiais
l	Comprimento da parede

Capítulo 1

Enquadramento, objectivos e organização da dissertação

1. Enquadramento, objectivos e organização da dissertação

1.1 Enquadramento

Na história da arquitectura e do património mundial é incontornável a importância da construção em terra. A utilização da terra como material de construção remonta às civilizações mais antigas do mundo devido às propriedades únicas deste material.

Em Portugal, a construção em adobe teve o seu auge na primeira metade do século XX, sendo a região de Aveiro uma zona com um vasto espólio desta técnica, que vai desde edifícios de habitação, serviços, palácios, edifícios religiosos, etc. No entanto, em meados dos anos sessenta do século XX, com a crescente evolução técnica e tecnológica a construção em terra teve um decréscimo acentuado, sendo mesmo actualmente quase inexistente. Na actualidade o património de adobe encontra-se em notório nível de degradação, assistindo-se com alguma frequência à demolição de edifícios desta natureza. Torna-se, pois importante efectuar estudos que permitam a avaliação correcta das propriedades e características mecânicas destas construções avaliando a possibilidade de desenvolvimento de técnicas de conservação e reabilitação adequadas a este edificado.

Na execução de estudos para determinação das propriedades e características mecânicas das construções em adobe, assim como em todo o tipo de construções, toma elevada importância a manutenção das características originais, pelo que o tipo de ensaios a efectuar deve ser o menos intrusivo possível. A possibilidade de realização de ensaios não destrutivos ou semi-destrutivos em detrimento de ensaios destrutivos deve ser assim privilegiada.

1.2 Objectivos da dissertação

A elaboração desta dissertação pretende contribuir com a aquisição de novos dados, que suportem uma caracterização mais rigorosa dos edifícios em alvenaria de adobe. Sendo uma temática bastante comum e com uma base de dados vastamente alargada, existem ainda alguns pontos que se torna importante estudar. Tendo isto em consideração, este trabalho serviu de

oportunidade de explorar áreas onde a informação é mais escassa. São portanto objectivos desta dissertação:

- a. Realizar um conjunto de ensaios com macacos planos, simples e duplos, em edifícios na região de Aveiro, construídas em alvenaria de adobe e que mantenham boas condições estruturais, de modo a determinar as características de comportamento mecânico deste tipo de construções;
- b. Comparar o estado de tensão instalado nas paredes, ao nível da zona de ensaio, através da realização de ensaios com macacos planos simples e do cálculo das tensões estimadas;
- c. Realizar um conjunto de ensaios com macacos planos simples recorrendo-se paralelamente a dois sistemas de medição e controlo de distâncias, o vulgarmente usado alongâmetro e com potenciómetro e verificar qual auferir resultados mais fidedignos e que permita menos problemas na realização dos ensaios;
- d. Realizar séries de ensaios em paredes de alvenaria de adobe com dimensões que permitam a realização de três ensaios, em zonas com a mesma tensão estimada através de cálculo, com macacos planos com os diversos formatos (rectangular, semi-circular e semi-oval). Com os resultados obtidos pretende-se verificar qual o formato de macacos planos que melhor caracteriza o comportamento mecânico das paredes de alvenaria de adobe.

1.3 Organização da dissertação

A presente está estruturada em seis capítulos e três anexos e está organizada em seis capítulos e Anexos. No presente capítulo, relativo à introdução da dissertação, é realizado o enquadramento do tema e são também apresentados os objectivos e estratégia adoptada assim como explicitada a estrutura e organização da dissertação;

O segundo capítulo é dedicado à construção em terra, dando-se um maior ênfase à construção em adobe, objecto mais concreto deste trabalho. Neste capítulo é feita uma referência às

características da terra como material de construção assim como apresentadas, de forma sucinta, as outras técnicas de construção em terra conhecidas. Concretizando para o adobe, são abordados o processo de fabrico, o processo construtivo, vantagens e desvantagens deste material, patologias associadas a este material e por fim a implantação e caracterização do edificado na região de Aveiro;

No terceiro capítulo é feita a apresentação dos ensaios com macacos planos. Além do necessário enquadramento do ensaio, quer ao nível da sua origem, é descrito todo o seu processo de execução tanto para ensaios simples como duplos. É ainda abordado o método de análise de resultados e os parâmetros que este ensaio permite obter;

O quarto capítulo é exclusivamente dedicado à caracterização dos edifícios onde foram realizados ensaios. Apresenta-se uma descrição dos edifícios em termos de características geométricas, de materiais constituintes e por fim é feita a determinação das tensões estimadas de tensões nas paredes de alvenaria de adobe ensaiadas;

O quinto capítulo incide sobre a análise experimental efectuada, isto é, resultados dos ensaios com macacos planos efectuados, simples e duplos. Especifica-se o modo como os resultados foram tratados assim como são apresentados os resultados da realização dos ensaios, tensão média instalada (ensaio simples), módulo de elasticidade, tensão máxima (ensaio duplo). Neste capítulo são apresentados os resultados sobre a influência da secção dos macacos planos nos resultados finais dos ensaios;

No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, tecidos os finais comentários e abordadas algumas questões que deverão ser futuramente estudadas.

Devido à extensão de resultados existentes, efectuaram-se três anexos:

No Anexo A são apresentados os resultados da constante que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico (k_m) determinada no processo de calibração; No Anexo B encontram-se os valores da constante que traduz a relação entre a área do macaco e a área do rasgo (k_a); No Anexo C são apresentados os restantes resultados do ensaio simples com macacos planos e finalmente no anexo D são apresentados os restantes resultados do ensaio duplo com macacos planos.

Capítulo 2
Construção em terra

2. Construção em terra

2.1 Técnicas de construção em terra

A terra crua tem sido utilizada como matéria-prima para construção há milhares de anos, tendo-se registos de construções de habitações, monumentos e templos religiosos por todo o planeta. A estimativa de população resistente neste tipo de habitações é de cerca de 30%, sendo que a utilização deste recurso na construção tem vindo a desvanecer [2].



Figura 1: Distribuição espacial de construção em terra no mundo [3]

O recurso a matérias-primas naturais abundantes em que a sua utilização não carece de processos dispendiosos em termos energéticos aliado ao bom comportamento térmico e acústico devido à grande inércia das paredes e a sua reutilização e reciclagem são algumas das vantagens da utilização deste recurso como material construtivo. A importância dos custos do impacto ambiental relativo ao sector da construção torna este material muito económico.

A selecção das terras a usar tem elevada importância já que a resistência da construção depende em muito da capacidade mecânica do solo. Por este facto não devem ser empregues solos com matéria orgânica e outros microorganismos prejudiciais, com uma granulometria entre

os 15 e 30% de argilas por volume de solo utilizado, sendo a quantidade de argila um factor essencial devido às suas características de coesão e alguma resistência à acção da água [4].

A construção em arquitectura de terra pode aparecer sobre diversas formas tais como a taipa, o tabique, o BTC (bloco de terra comprimida) e o adobe. De seguida apresentam-se as principais características destes tipos de construção.

2.1.1. Tabique

2.1.1.1 Caracterização

A construção em tabique consiste na aplicação de terra sobre uma estrutura de madeira ou cana, podendo portanto considerar-se uma estrutura mista, na qual a estrutura de madeira ou cana tem uma função resistente enquanto a terra tem uma função de enchimento ou revestimento. Esta técnica é normalmente utilizada na construção de paredes interiores.

Uma das principais características diferenciadoras entre a construção em tabique e as construções em adobe, taipa ou bloco de terra comprimida é o tipo de estrutura resistente. Enquanto nas paredes em tabique a estrutura resistente é formada por madeira ou cana tendo a terra uma função de revestimento/enchimento, nas restantes a estrutura resistente é conferida pela terra.

2.1.1.2 Processo construtivo

A construção de paredes em tabique inicia-se com a construção da estrutura resistente em madeira ou cana. Esta estrutura é mais frequentemente constituída por tábuas de madeira colocadas verticalmente às quais são pregadas, através de pregos zincados de forma a evitar o trespassse de ferrugem para o exterior, fasquio horizontal com um afastamento de cerca de 5cm. O material de enchimento e revestimento é normalmente constituído por solos de constituição argilosa aos quais é adicionada água. Esta mistura é colocada sobre a estrutura resistente cobrindo-a na totalidade, conferindo o devido prumo das paredes. Nos acabamentos das paredes os solos a utilizar devem ser de menor dimensão de modo a cobrir todos os buracos [5]. Na Figura 2 apresenta-se uma imagem de uma parede de tabique em estado de deterioração,

onde é possível observar a constituição das diferentes camadas que constituem uma parede de tabique.



Figura 2: Parede de tabique

2.1.2. Taipa

2.1.2.1 Caracterização

A taipa é constituída por terra húmida comprimida entre taipais de madeira que são retirados após secagem da terra formando-se paredes homogéneas e monolíticas. A terra a empregar na construção de paredes de taipa deve ter uma boa distribuição granulométrica apresentando um teor de argila a variar entre os 15 e os 30%, admitindo-se de cascalhos até uma dimensão máxima de 25mm. Os limites dos teores de argila na terra a empregar prendem-se com a fendilhação por retracção se a percentagem de argila for muito elevada e a falta de características aglutinantes se a percentagem for reduzida [6].

2.1.2.2 Processo construtivo

A execução de paredes de taipa inicia-se pela construção dos caboucos com pedra local até uma altura de cerca de 50cm acima do nível do solo, visando evitar o contacto directo entre a taipa e o solo evitando assim a indesejável absorção de humidade.

Após se seleccionarem as terras a utilizar, procede-se à limpeza dos agregados de média e grande dimensão, isto é, retiram-se os agregados de dimensão superior a 25mm e procede-se à

amassadura adicionando água e cascalhos com as dimensões permitidas. Entretanto são colocados os taipais de madeira sobre o murete de pedra e procede-se ao enchimento com o material resultante da amassadura, apiloando-se a cada camada de material de enchimento [4]. Depois da secagem da terra são extraídos os taipais de cofragem e procede-se à realização de novas camadas sobre esta. De notar que na execução de novas camadas não é colocada cofragem inferior de forma a permitir a colagem entre camadas (ver Figura 3).



Figura 3: Execução de parede de taipa [4]

2.1.3 Bloco de Terra Comprimida (BTC)

2.1.3.1 Caracterização

O bloco de terra comprimida é um tipo de material similar ao adobe que se diferencia na sua forma de fabrico. Na sua produção é utilizado uma prensa mecânica que efectua a compressão das terras seleccionadas. A utilização deste processo mecânico confere uma maior resistência mecânica aos BTC pela diminuição do número de vazios e consequente diminuição da porosidade do material. O uso do BTC pode ser efectuado tanto para material de revestimento assim como material de enchimento.

2.1.3.2 Processo construtivo

A construção dos blocos de terra comprimida, assim como nas outras técnicas de construção em terra crua, inicia-se pela selecção dos terrenos com as características adequadas. Terminada a selecção das terras é feita uma amassadura com adição de água aos terrenos seleccionados, colocando-se de seguida a mistura na prensa e feita a respectiva compactação. Na compactação tanto podem ser utilizadas prensas manuais como prensas mecânicas.

Ao saírem da prensa, os BTC ainda não atingiram a sua resistência mecânica máxima pelo que devem ser sujeitos a um período de cura em ambiente quente e húmido.

Na Figura 4 apresenta-se uma habitação em fase de construção com paredes resistentes em BTC.



Figura 4: Construção de alvenaria resistente em BTC [7]

2.1.4 Adobe

2.1.4.1 Caracterização

O adobe é um material natural sob a forma de pequenos blocos rectangulares de terra crua, preparados em moldes e secos ao sol. Para a construção dos blocos de adobe são

amassados terra com água podendo ou não adicionar-se elementos aglutinantes tais como a cal, palha ou pedaços de madeira. Os moldes devem, anteriormente ao seu enchimento, ser molhados e salpicados com água, para assegurar a qualidade final do adobe, devendo ainda ser impedido o contacto com água para evitar o empenamento e apodrecimento das peças de adobe.

A moldagem dos blocos é feita com formas de madeira denominadas adobeira (ver Figura 5).

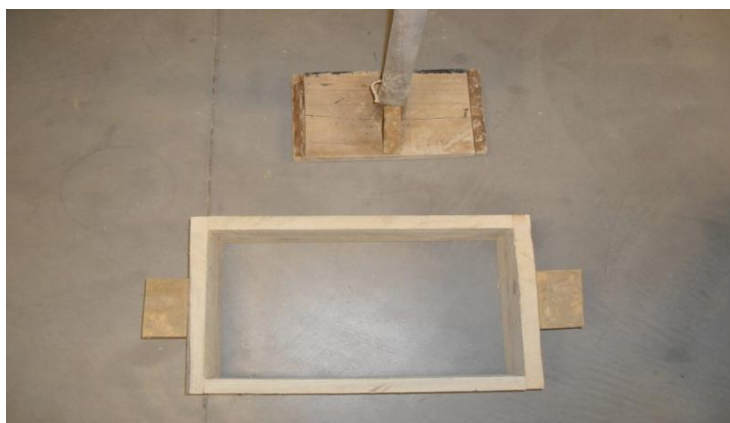


Figura 5: Adobadeira e pilão

As quantidades de materiais a usar na produção de blocos de adobe não são de consenso geral, existindo várias propostas de diversos autores. Velloso et al. (1985) propõe quantidades de argila e silte entre 9 e 3% em peso, Martinez (1979) define 20% de argila e 40 a 55% de areia, Alves (1985) considera argila menor que 20% e areia superior a 45%. Hernandez et al. (1983) definem a percentagem ideal de areia para os adobes próxima de 50%, silte, 30% e argila, 20%. Também em termos de dimensões a usar nos blocos de adobe existe um leque variado de medidas segundo diversos investigadores [1,8] (ver Tabela 1).

Tabela 1: Dimensões dos blocos de adobe segundo diversos autores [1,8].

Autor	Dimensões (cm)	Localização
Ortega (1983)	29 x 9x 9 e 30 x 15 x 15	Benin, África
Milanez (1958)	40 x 20 x 10 e 25 x 12x 8	
Williams-Ellis & Eastwick-Field (1950)	38 x 38 x 8, 39 x 18 x 18 e 40 x 20 x 15	México
Rodrigues (1980)	30 x 15 x 15	
Hassan Fathy	25 x 15 x 6	
Lavinsky et al. (1998)	23 x 11 x 7 e 23 x 11 x 10	
Varum et al. (2006)	45x30x15 quando utilizados em casas e de 45x20x15 quando utilizados na construção de muros.	Aveiro

2.1.4.2 Processo construtivo

Sendo o adobe um material com permeabilidade elevada e em que a presença de água baixa a sua resistência, a realização de construções com este material, é regra geral, iniciada com a construção de um alicerce em pedra evitando-se assim fenómenos de ascensão capilar. Uma outra forma de melhorar as características resistentes deste material à água é a adição de cal à mistura. Por norma a produção de blocos de adobe é realizada em zonas com terrenos com a composição pretendida, em locais próximos ao local de edificação da obra. É executada uma mistura das terras com a água até se obter a consistência desejada, podendo em certos casos adicionar-se a esta mistura um estabilizador ou um ligante. O resultado da amassadura é colocado nas adobeiras, previamente molhadas de forma a facilitar a desmoldagem, compactando-se as camadas da mistura de enchimento. De seguida procede-se à secagem dos adobes durante um período que pode variar entre quinze e vinte dias. Após o período de secagem dos adobes pode dar-se o início da construção dos panos de alvenaria.

Para a construção dos panos é necessária a produção de uma argamassa de assentamento de características semelhantes ao adobe, executando-se sobre a parede de pedra de fundação, fiadas de adobe e argamassa de assentamento. A argamassa de assentamento servirá ainda utilizada na colmatação das juntas de assentamento.

A construção de panos de alvenaria apresenta variações de espessura de edifício para edifício, sendo que as dimensões de adobe variam de região para região. Acresce ainda a forma como são dispostos os blocos de adobe, assente à meia vez ou assente a uma vez (ver Figura 6).

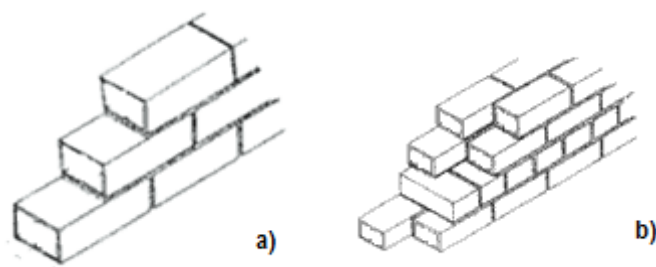


Figura 6: Formas de disposição de alvenarias de tijolo a) Assente à meia vez; b) Assente a uma vez [9]

2.1.4.3 Pormenores construtivos das soluções em adobe

Apesar das características únicas do adobe, a sua resistência fica limitada quando na presença de água. Para tal, tornam-se necessários efectuar pormenores construtivos que reduzam ou impeçam a absorção em demasia de água dos blocos de adobe. As soluções passam pela execução de fundações em pedra, execução de caixas-de-ar, realização de beiral nas coberturas, embasamentos, reboco das alvenarias, revestimento com azulejo, pintura com tintas à base de silicatos e banhos de cal.

✓ Fundações:

Como já anteriormente referido no ponto 2.1.4.2, a construção de paredes de alvenaria de adobe inicia-se pela construção de uma fundação em pedra até cerca dos 0,5 m (em alguns casos esta altura é bastante superior a 0,5 m), com função de colmatar o défice comportamento do adobe face à água, já que se evita o contacto directo do adobe com a humidade. Na Figura 7 apresenta-se a ligação de uma parede de adobe a uma fundação de pedra.



Figura 7: Fundação de parede de adobe sobre pedra [10]

✓ Caixa-de-ar:

Uma outra solução para este problema passa pela execução de uma caixa-de-ar, em que se permite a ventilação do pavimento e das paredes evitando desta forma o excesso de humidade nos adobes [10] (ver Figura 8).



Figura 8: Caixa-de-ar efectuadas em edifícios de adobe

✓ Cobertura:

A necessidade de garantir que a água proveniente da precipitação não entre em contacto com os blocos de adobe, levou à execução de beiral nas coberturas, introduzindo assim uma zona saliente para fora do plano da parede que impede o contacto directo das chuvas com as alvenarias de adobe.

Deve ainda assegurar-se nas coberturas o devido escoamento das águas tendo especial cuidado com a execução das pendentes e sistemas de drenagem de águas eficientes [10]. Na Figura 9 são apresentadas duas soluções construtivas para coberturas de edifícios em adobe.



Figura 9: Pormenores de execução de cobertura

✓ Embasamentos

O embasamento consiste no revestimento da zona de arranque da parede de alvenaria de adobe com pedra ou material cerâmico de forma a impedir o contacto das alvenarias com os salpicos provenientes das chuvas e de possíveis inundações, evitando assim a ascensão de humidades pelos blocos de adobe.

✓ Revestimentos das fachadas

Os revestimentos das fachadas têm como objectivo reduzir o contacto dos panos de alvenaria de adobe com humidades e com os agentes biológicos que tendem a atacar o adobe. Podem ser efectuados através de rebocos, o revestimento com azulejos cerâmicos ou através de pinturas apropriadas.

Os rebocos são por norma constituídos por uma mistura de argila, cal e água com uma composição que limite fenómenos de expansão e retracção das paredes, com a finalidade de evitar o destacamento dos rebocos e a sua fissuração, evitando assim a criação de novos pontos de entrada de humidades [11].

Na utilização de pinturas das fachadas deve ser efectuada uma selecção de uma tinta com propriedades que limitem a absorção de água dos adobes e com características elásticas de

forma a acompanhar as variações dimensionais das paredes que vão ocorrendo sazonalmente. Por fim, o revestimento das fachadas com azulejo é uma outra solução que pretende evitar o contacto das alvenarias de adobe com a humidade. A execução do revestimento deve prever juntas preenchidas com argamassas próprias com dimensão suficiente para impedir o empolamento do revestimento e o aparecimento de fissuras. Na Figura 10 apresentam-se alguns dos revestimentos usados em edifícios de adobe.



Figura 10: Revestimentos em edifícios de adobe

2.1.4.4 *Patologias associadas a construções em adobe*

Devido à sua composição as construções em adobe apresentam frequentemente algumas patologias mais comuns entre as quais se destacam:

- Degradação do adobe e dos seus revestimentos (devido à acção dos agentes climáticos e bacteriológicos);
- Presença de humidades e manchas (devido à acção dos agentes climáticos e bacteriológicos);
- Fissuração das paredes (devido a expansões e retracções dos materiais);
- Fissuração nos vãos das aberturas e nas zonas dos cunhais (devido a esforços concentrados e má construção dos elementos);
- Esmagamento localizado (devido a elevadas cargas concentradas)

2.1.4.5 Vantagens e desvantagens do adobe

O adobe como material de construção tem diversas vantagens, como o elevado conforto térmico, associado à sua inércia térmica, bom comportamento acústico, facilidade de reciclagem dos materiais constituintes, facilidade de produção. Acresce a isto, o factor económico visto o custo reduzido da matéria-prima e do seu fácil acesso e ainda o reduzido consumo de água necessário na construção quando comparado com outras técnicas construtivas. Outra vantagem é boa absorção de odores e gorduras devido à presença de argila na sua constituição o adobe. Por outro lado este material acarreta também algumas desvantagens entre as quais o deficiente comportamento mecânico na presença de água, baixa resistência ao corte e à tracção e deficiente comportamento na presença de acções horizontais de corte, nomeadamente a acção sísmica [4].

2.1.4.6 Construção em adobe no mundo

O uso de adobe como material de construção é milenar, sendo que pelo facto de ser uma técnica construtiva económica, existem construções deste tipo um pouco por todo o mundo. Não obstante à viabilidade económica desta técnica, tem-se abandonado um pouco a construção em adobe visto conotar sinais de pobreza e construções do terceiro mundo.

A maioria dos problemas que afastam a opção de construir em terra crua deve-se, não às características do material, mas antes à sua fraca divulgação, à ausência de uma estrutura de mercado que ofereça mão-de-obra competente e disponibilize informação técnica, à própria dinâmica intrínseca da técnica construtiva ao nível da execução.

Em Portugal esta técnica assume especial relevância na zona Litoral norte (ver Figura 11), na qual se destaca a região de Aveiro.

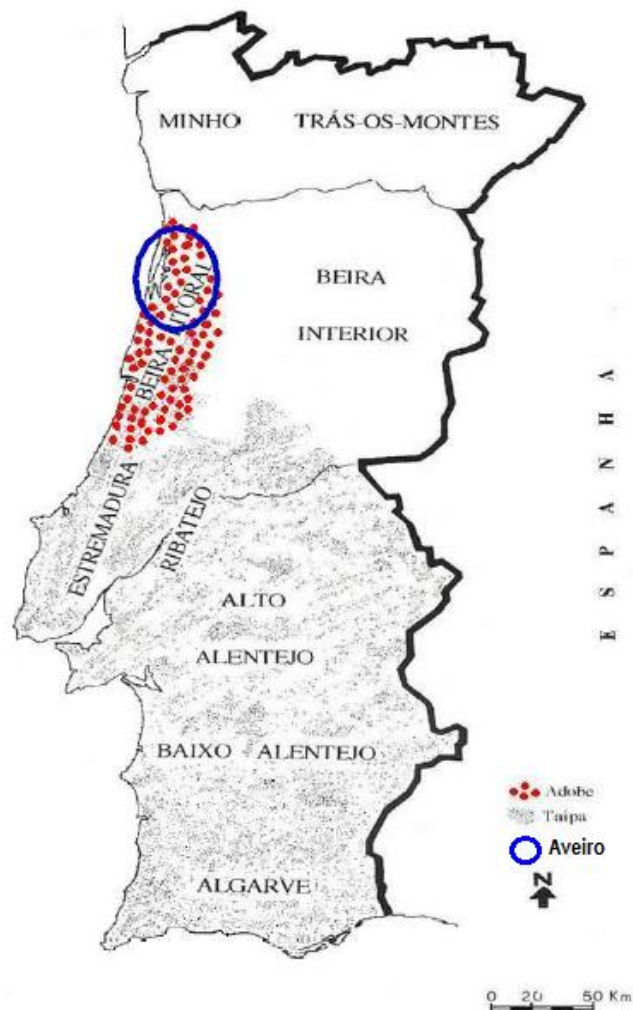


Figura 11: Construção em terra em Portugal [12]

2.1.4.7 Construção em adobe no distrito de Aveiro

Tratando-se Aveiro uma região rica em solos com as características adequadas para a construção em adobe existem uma série de edifícios que utilizam esta técnica que vão desde pequenas habitações unifamiliares a monumentos, edifícios religiosos e até mesmo poços de água (ver Figura 12). Segundo dados de profissionais a construção em adobe no distrito de Aveiro representa cerca de 20 a 25% dos edifícios do concelho atingindo valores na ordem dos 35% a 40% para o distrito [1].

Parte destas construções encontra-se em acentuado estado de degradação mas ainda é possível verificar a existência de alguns em condições de habitabilidade. Face a combater este

fenómeno de degradação de alguns edifícios têm-se aprofundado o estudo deste material de forma a combater as patologias associadas a este material e ao tipo de construção em si. O conhecimento melhorado deste tipo de material permite a utilização de técnicas de reabilitação que permitam não só a manutenção das características do edifício assim como dotá-lo de melhores condições estruturais [13].



Figura 12: Construções em adobe no distrito de Aveiro

Capítulo 3

Ensaaios com macacos planos

3. Ensaaios com macacos planos

3.1. Introdução

Os edifícios históricos representam uma parte importante do nosso património cultural, independentemente de serem monumentos ou simples edifícios habitacionais. Este património que é a memória viva da história do país deve ser preservado tanto quanto possível.

A importância do património histórico e cultural edificado tem levado à realização de campanhas de conservação e restauro em substituição de técnicas de demolição e construção nova. A reabilitação e restauro de edifícios antigos deve recorrer a técnicas construtivas que não sejam intrusivas nem provoquem alterações significativas aos métodos e materiais da estrutura original. Assim sendo, a realização de campanhas de caracterização das técnicas construtivas, materiais utilizados bem como estado de conservação dos mesmos toma importância avultada.

A realização de ensaios quer destrutivos quer não destrutivos tem parte integrante e fundamental no processo de inspecção técnica de edifícios. Normalmente as técnicas utilizadas para caracterizar os edifícios e as suas propriedades são destrutivas e não é analisado o real comportamento da estrutura. Para tal é necessário recorrer a técnicas não destrutivas (NDT). Através da utilização de ensaios não destrutivos pode-se efectuar uma análise do comportamento do edifício no decorrer do tempo, podendo-se assim agir de maneira preventiva, criando menores custos de recuperação e maior segurança, não só para a população residente mas também para a população geral. Podem-se definir como um exame/ensaio de materiais sem recorrer à destruição ou alteração da utilidade dos mesmos, sendo testes para detecção de defeitos e irregularidades nos materiais. Permite uma avaliação qualitativa dos materiais e das soluções construtivas.

Os NDT podem ser utilizados para diversas finalidades:

- (i) A detecção de elementos estruturais ocultos;
- (ii) Caracterização das estruturas e dos materiais;
- (iii) Mapeamento de homogeneidade dos materiais utilizados nas estruturas;
- (iv) Avaliação da extensão dos danos mecânicos nas estruturas;
- (v) Presença de vazios e falhas;
- (vi) Avaliação do teor de humidade e ascensão capilar

A execução de campanhas de ensaios não destrutivos é de elevada importância, visto permitir a avaliação da estabilidade da estrutura e seus materiais, do tipo de materiais utilizados, a caracterização física e mecânica sem introduzir na estrutura um dano acrescido.

Na sua globalidade os ensaios não destrutivos são bons tradutores do estado de conservação do edifício bem como identificação de patologias existentes. Na sua maioria os métodos de ensaio não destrutivos permitem quantificar as características dos elementos do edifício, com recurso a formulações, ábacos, gráficos, a partir dos parâmetros obtidos por cada processo. No entanto, existe um tipo de ensaio mecânico que permite quantificar directamente e indirectamente os parâmetros mecânicos de uma estrutura ou material, sendo portanto um bom identificador dos materiais, trata-se do ensaio de macacos planos.

3.2. Ensaio de macacos planos (“Flat-Jack Testing”)

3.2.1 Enquadramento

O ensaio de macacos planos ou “flat-jack testing” começou a ser utilizado na caracterização de alvenarias nos meados de 1980, quando o investigador italiano Paolo Rossi adaptou o ensaio anteriormente usado na Mecânica das Rochas para paredes de alvenarias. Esta técnica foi sendo progressivamente desenvolvida por outros investigadores mundiais, tais como Abdunur (uso de pequenos macacos circulares), Wang e Wang (desenvolvimento de macacos de pequena espessura e grandes deslocamentos para uso em alvenarias brandas típicas na China). Gregorczyk e Lourenço (determinação da área efectiva de aplicação de pressão pelo macaco, necessário para determinação de k_a , constante que traduz a relação entre a área do macaco e a área do rasgo) entre outros [14, 15, 16 e 17].

A criação de normalização adequada à realização dos ensaios foi introduzida na Europa em 1990, com as normas RILEM, LUM.D.2, “In-situ stress tests on massonary based on flat Jack” e LUM.D.3, “In-situ strength/elastic tests on massonary based on flat Jack”. Um ano mais tarde nos Estados Unidos da América a ASTM aprovou as normas ASTM Standard C1196-91, “In-situ compressive stress within solid unit massonary estimated using flat-jack measurements” e ASTM Standard C1197-91, “In-situ measurement of massonary deformability properties using flat Jack method”.

Nos dias de hoje este método vem sendo usado numa grande quantidade de campanhas de ensaios de caracterização de alvenarias pela relativa facilidade de realização de ensaios e pela qualidade dos valores obtidos.

3.2.2 Caracterização mecânica de alvenarias

Os ensaios com macacos planos são ensaios não destrutivos porque o dano causado pela remoção de material da junta é facilmente reparável depois do ensaio, sendo também designado por ensaio ligeiramente destrutivo porque na realização do ensaio é necessário remover zonas da junta da parede para introdução dos macacos [15, 17].

A realização de uma campanha de ensaios com macacos planos permite a avaliação do estado de tensão numa parede de alvenaria (ensaio com macacos planos simples), assim como a obtenção de uma estimativa do módulo de elasticidade e da capacidade resistente à compressão de elementos de alvenaria (ensaio com macacos planos duplos). A realização de ensaios com macacos permite ainda a avaliação do esforço cortante no plano da parede, por aplicação de um macaco verticalmente, sendo necessária a abertura de dois rasgos paralelos verticalmente.

3.3 Descrição dos macacos planos

Os macacos planos são constituídos por duas chapas planas soldadas no seu contorno exterior, de modo a criar no interior um reservatório plano fechado que irá ser pressurizado com óleo, através de uma bomba hidráulica, durante a realização do ensaio, estando habilitados para suportar uma tensão superior ou igual a 6,9 MPa cerca de 1000 psi. O sistema de pressurização é ligado aos macacos através de tubos flexíveis ligados ao registo de entrada do macaco por intermédio de um encaixe rápido. Nos macacos existe ainda um registo de saída que permite a purga do óleo no final da realização do ensaio.

A geometria dos macacos é variável, podendo ser rectangulares, semi-ovais ou semi-circulares (Figura 13), de forma a uma melhor adaptação ao rasgo que é aberto, dependente dos meios de abertura utilizados.



Figura 13: Configurações geométricas dos macacos

Normalmente para abertura de rasgos em paredes executadas com serras de corte circulares são usados macacos semi-circulares ou semi-ovais, enquanto para a abertura de rasgos com brocas de perfuração ponto a ponto se devem usar macacos rectangulares.

Os macacos a utilizar numa campanha de ensaios devem segundo a normalização ASTM [18, 19], ter uma dimensão A de dimensão superior ou igual a dois blocos de alvenaria. O comprimento B deve por sua vez ser igual ou superior altura da junta e nunca inferior a 76mm (3 inches), por último no caso de macacos semi-circulares ou circulares o raio deve ser igual ao raio do disco da serra circular de corte para maior adaptabilidade dos macacos. Os valores das constantes A , B e R têm o significado representado na Figura 14.

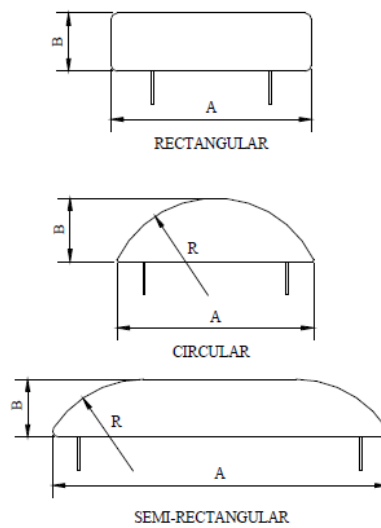


Figura 14: Dimensões dos macacos (adaptado de [17])

A utilização dos macacos deve pressupor a correcta utilização dos mesmos tendo em atenção a geometria e dimensões mais adequadas ao rasgo, a integridade dos mesmos e a correcta calibração.

3.4 Equipamento de ensaio

Para assegurar a realização de ensaios de macacos planos é necessário reunir uma diversidade de materiais entre os quais equipamentos de medição, equipamentos de corte, equipamentos de pressurização, macacos e equipamentos de protecção.

De seguida apresenta-se uma listagem de materiais indispensáveis à realização dos ensaios, tanto para ensaios simples como para ensaios duplos. A lista de materiais para os ensaios simples e duplos é similar no entanto, para além da variação do número de elementos, tendo os ensaios duplos necessidade de um maior número de materiais, devido à realização do ensaio em dois rasgos paralelos, os ensaios duplos necessitam em regra de alguns materiais suplementares. De seguida lista-se os componentes necessários para a realização dos ensaios:

- Macacos planos (deve prevenir-se sempre e levar pelo menos mais um macaco do que o necessário)
- Bomba hidráulica possuindo um sistema de medição de pressões (manómetro)
- Tubagem flexível de ligação do sistema de pressurização ao macaco

- Sistemas de medição de deformação (alongâmetro + miras de controlo) *
- Sistemas de medição de deformação/alongamento (potenciómetro tipo Gefran)
- Sistema de aquisição de dados
- Computador portátil
- Material de colagem de miras de controlo (super-cola ou resinas epoxi)
- Material de corte de junta
- Equipamento de protecção individual (Máscara, óculos, luvas, bata, ...)
- Papel químico
- Material complementar para limpeza do rasgo e instalação de dispositivos

Na Figura 15 são apresentados alguns dos materiais necessários e indispensáveis para a realização de ensaios com macacos planos.

* Apenas em ensaios simples

	
Rebarbadora	Sistema de pressurização
	
Alongâmetro	Serra de corte circular
	
Macacos planos	Potenciômetro

Figura 15: Material necessário para a execução dos ensaios

3.5 Ensaio Simples e Ensaio Duplos

3.5.1 Ensaio simples

O ensaio com macacos planos simples em paredes de alvenaria tem como princípio a eliminação das tensões instaladas nas paredes através da abertura de uma fenda horizontal e reposição das tensões através de um sistema de pressurização controlada do macaco plano instalado na fenda. A sua realização permite a avaliação do estado de tensão de paredes de alvenaria [18,19, 23 e 24].

3.5.2 Ensaio duplos

Quanto aos ensaios com macacos planos duplos estes distinguem-se dos ensaios com macacos planos simples pela aplicação de dois macacos planos em dois rasgos de parede efectuados paralelamente. Os dois macacos são ligados à mesma bomba hidráulica de forma a garantir uma equidade de pressões em ambos os macacos [18,19, 23 e 24].

3.6 Execução das zonas de ensaio

Na realização de ensaios de macacos planos, simples ou duplos, é necessário abrir um rasgo na zona que se pretende caracterizar. O ideal na abertura da fenda seria a abertura ter espessura e dimensões iguais às do macaco a utilizar, no entanto esta situação é na prática de difícil realização pelo que as normas ASTM [18,19] admitem o uso de pequenos calços com a mesma dimensão que os macacos a usar, sendo que a diferença de dimensões entre o rasgo e o macaco devem ser inferior a 1,25 centímetros (1/2 in.).

No corte da zona para inserção devem-se evitar vibrações excessivas, sendo proibido o uso de martelos de grande dimensão. Deve-se optar pelo uso de serras de corte circular no caso de se usar macacos semi-circulares ou semi-ovais e no caso de macacos rectangulares proceder-se ao uso de perfuração com brocas (ver Figura 16). Em qualquer um dos tipos de sistema de abertura de rasgos é necessário assegurar a limpeza adequada do rasgo através de sistemas de vácuo,

sistemas de projecção de ar ou através de qualquer outra técnica que promova a limpeza da zona de corte.

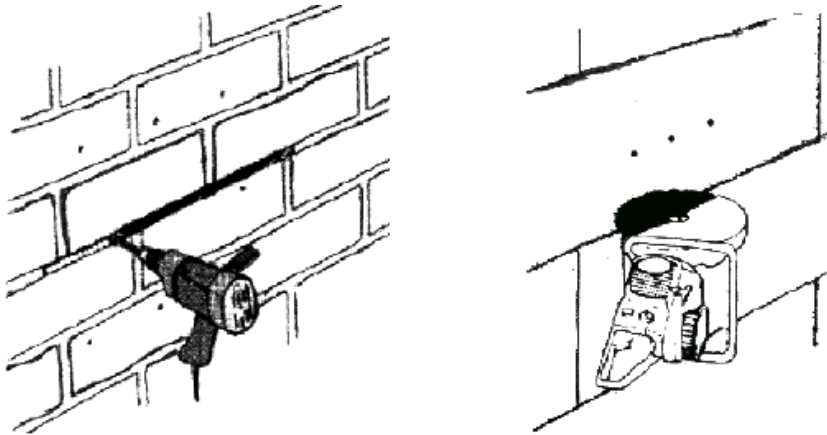


Figura 16: Métodos de abertura de zonas de ensaio [17]

3.7 Sistemas de pressurização

O sistema de pressurização a utilizar na realização do ensaio tem como função o enchimento das “almofadas” dos macacos de forma a aplicar um aumento de volume perpendicular ao seu plano, introduzindo assim tensão nesse mesmo sentido. O sistema deve ser composto por uma bomba hidráulica com um sistema de medição da pressão (manómetro). As normas ASTM [18,19] estabelecem que o sistema tem que manter uma pressão constante, com incerteza máxima de 1% durante um intervalo de 5 minutos. A bomba hidráulica deve ser capaz de exercer uma pressão superior à tensão da alvenaria de modo a ser possível obter a tensão de cedência do material.

3.8 Sistemas de medição de deslocamentos

A medição dos deslocamentos pode ser obtida pela utilização de alongâmetros ou potenciômetros. Os alongâmetros são extensómetros mecânicos de elevada precisão que permitem a leitura dos deslocamentos entre dois pontos, previamente fixados nas paredes (miras de controlo), sendo necessárias várias medições ao longo do ensaio à medida que se efectuam incrementos de pressão no sistema.

Os potenciômetros, fixos por um sistema de hastes colados na parede, permitem uma leitura constante de deformações ao longo do tempo. Na realização deste trabalho recorreu-se a uma solução de sensores tipo Gefran, que utilizam a tecnologia de potenciômetros, isto é, transformam o deslocamento linear em variação de resistência.

Os potenciômetros permitem o registo constante dos deslocamentos para cada medição de forma mais facilitada em relação aos alongâmetros, pelo facto de possibilitarem a conexão a um sistema de aquisição ligado a um computador portátil permitindo a leitura do deslocamento em cada alinhamento para os vários incrementos de tensão de forma rápida, permitindo ainda o traçado constante da curva tensão-extensão para cada alinhamento.

Independentemente do tipo de sensor a utilizar as normas RILEM [23,24] e ASTM [18,19] exigem uma série de especificações a respeitar pelo aparelho de medição. No caso das normas RILEM os aparelhos de medição devem ter uma incerteza máxima de 0,1% da capacidade de medição do aparelho, deve ser capaz de medir até 20 cm em ensaios simples e 40 cm em ensaios duplos. Por seu lado as normas ASTM preconizam uma incerteza máxima de 0,005% da capacidade de medição do aparelho e um comprimento de medição de $0,3 \times A$ a $0,6 \times A$ para ensaios simples.

A aplicação de pontos de referência dos alinhamentos para medição, devem ser devidamente fixados à parede para que não sejam possíveis deslocamentos nem descolamentos durante a realização das medições. Estes alinhamentos devem estar perpendicularmente em cima e em baixo à zona de aplicação dos macacos no caso de realização de ensaios simples, sendo recomendado a colocação de 4 pares (normas ASTM [18,19]) ou 3 pares (normas RILEM [23,24]) dispostos com igual espaçamento dentro da zona onde é aplicado o macaco. No caso de ensaios duplos as normas ASTM e RILEM consensualmente determinam a aplicação dos alinhamentos de referência simetricamente abaixo do macaco superior e acima do macaco inferior devendo ainda introduzir-se um macaco horizontalmente. Na Figura 17 apresentam-se os sistemas de medição dos deslocamentos utilizados na realização dos ensaios com macacos planos.



Figura 17: Sistemas de medição dos deslocamentos: a) Alongômetro [adaptado de [10]; b) Potenciômetros tipo Gefran

3.9 Calibração dos macacos e factor de calibração (km)

O factor de calibração, km , constante que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico determinado no processo de calibração dos macacos planos, (parâmetro adimensional sempre inferior a 1,0) permite a conversão entre a pressão interna do sistema de pressurização (bomba hidráulica), lida no manómetro à saída e a pressão que está a ser aplicada na alvenaria pelos macacos, no momento do ensaio. Este factor é fornecido pelo fabricante do macaco na altura de aquisição do mesmo, fazendo parte integrante no catálogo do produto. Não obstante, ao fim de algumas utilizações, normalmente cinco, é necessário proceder-se a uma nova calibração dos macacos. O novo procedimento de calibração pode ainda ser necessário no caso de os macacos sofrerem deformações excessivas no momento da sua utilização.

Sendo o factor de calibração um parâmetro directamente relacionado com os resultados finais dos ensaios, torna-se fundamental um especial cuidado de proceder, após cada ensaio, à descompressão total dos macacos de forma a estes voltarem à sua forma e dimensões iniciais para não provocar a descalibração no final de cada utilização.

O processo de calibração deve seguir a regulamentação da norma americana, ASTM Standart C1197-91 [18,19]. No processo de calibração são necessários os seguintes materiais: prensa mecânica; chapas de aço com rigidez e espessura suficientes para permitir a prensa do macaco,

sistema de pressurização (bomba hidráulica) e um sistema de registo da evolução das pressões a que vai ser sujeito o macaco. O processo de calibração em laboratório consiste nos seguintes passos:

- i. Verificação da não existência de óleo no interior dos macacos, procedendo-se à purga do óleo no caso da sua existência;
- ii. Colocação do macaco na prensa mecânica, colocando-se as chapas metálicas entre a prensa e o macaco plano, assegurando que as chapas não vão aplicar pressão nos “tubos” de entrada e saída de óleo (evitar o estrangulamento das entradas e saídas de óleo);
- iii. Ajuste da pressão de equilíbrio a prensa;
- iv. Aplicação de incrementos de carga em intervalos de 5kN, no macaco através do sistema de pressurização, procedendo-se à leitura dos valores de reacção da prensa, até um valor máximo de tensão no macaco de 30kN;
- v. Cálculo da tensão no interior do macaco plano;
- vi. Obtenção do factor de calibração k_m , para a média dos valores de cada incremento de carga, pela relação entre a tensão a que está sujeito o macaco plano e a reacção na prensa mecânica.

3.10 Determinação do valor de k_a

O parâmetro k_a representa a relação entre a área em que é exercida pressão e a área do macaco. A sua determinação é de difícil avaliação pelo que *Lourenço P. et al*, desenvolveram um método expedito de determinação da área em que efectivamente é exercida pressão por parte do macaco [17]. Com esta finalidade estes investigadores aplicaram sobre a superfície do macaco uma folha de papel químico (ou papel de carbono, têm num dos lados uma camada de pigmento que é transferível por contacto) complementado por uma superfície de papel branco. Ao ser aplicado pressão no macaco na realização do ensaio as zonas de contacto entre o macaco e a alvenaria vão ser marcadas na folha de papel branco por transferência de pigmento da folha de papel químico para a folha branca. Findo o ensaio é possível observar as zonas de aplicação efectiva de cargas e o cálculo da área efectiva é complementado pela determinação da área por regras matemáticas ou por software informático (exemplo: AutoCad), sendo que o segundo método traduz resultados mais correctos.

3.11 Pressupostos do Ensaio

A realização dos ensaios “flat-jack” admite uma série de princípios e premissas base, que são assumidos como verídicos e sucedidos em todos os momentos de ensaio. Os pressupostos de ensaio são os seguintes[10] :

- O estado de tensão local é de compressão uniforme ao longo da espessura da parede;
- Não se consideram tensões diferentes nas faces da alvenaria, nem a existência de um núcleo menos rígido;
- A alvenaria à volta do rasgo é homogénea;
- A alvenaria deforma-se simetricamente em relação ao rasgo, assumindo-se que as deformações inelásticas são distribuídas ao longo do rasgo;
- A tensão aplicada pelos macacos à alvenaria é uniforme;
- A alvenaria deve estar em regime elástico, isto é, os valores de tensão estimados devem, quando comparados com os da resistência à compressão, assegurar que a alvenaria está em regime elástico.

3.12 Procedimentos dos ensaios com macacos planos

A realização dos ensaios deve ser efectuada de forma cuidadosa e rigorosa por forma à obtenção de bons resultados. Devido a alguns problemas nos resultados obtidos em trabalhos anteriores procedeu-se a um duplo sistema de medição de distâncias entre miras, através do alongâmetro e através do potenciómetro. De seguida procede-se à descrição de forma sucinta aos procedimentos a efectuar no momento da campanha de ensaios. Temos para o caso de ensaios o seguinte protocolo de ensaio:

- Colocação de miras de controlo por colagem conforme disposições regulamentares e fixações para os potenciómetros;
- Medição da distância inicial recorrendo-se ao alongâmetro e ao potenciómetro;
- Corte de rasgo, preferencialmente em zona de junta para colocação posterior do macaco e respectiva limpeza;
- Registo da nova distância;

- Introdução do macaco no rasgo, calçando-o se necessário e ligação dos macacos ao sistema de pressurização;
- Pressurização gradual com incrementos constantes do macaco até se efectuar o restabelecimento das tensões iniciais, ou seja, a restituição da medição da distância inicial;
- Restabelecimento da forma inicial dos macacos, após ensaio para evitar a descalibração prematura dos mesmos.

Na Figura 18 é esquematizado o protocolo do ensaio simples.

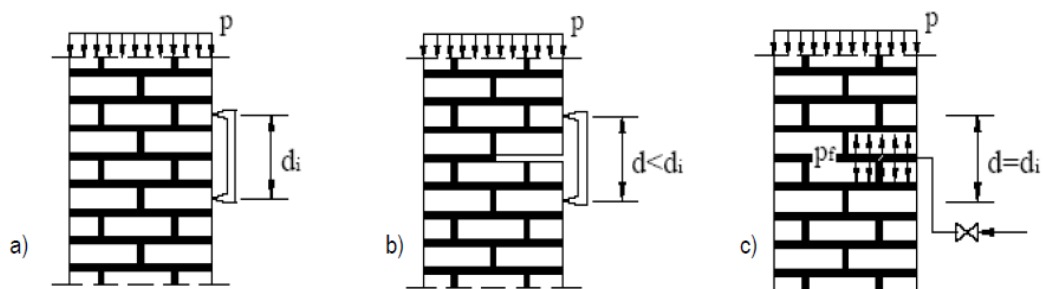


Figura 18: Esquema de execução de ensaios simples: a) fixação das miras e leituras das distâncias iniciais antes da abertura dos rasgos; b) leituras das distâncias após abertura dos rasgos; c) pressurização dos macacos até se obterem as distâncias iniciais [17]

Nas Figura 19 e Figura 20, apresenta-se o protocolo de ensaio efectuado nos ensaios simples realizados e uma vista geral do procedimento de ensaio, respectivamente.

	
<p>Remoção do reboco de revestimento</p>	<p>Colocação das miras de controlo e hastes para os potenciômetros</p>
	
<p>Medição das distâncias antes da abertura do rasgo</p>	<p>Abertura do rasgo e colocação do macaco plano</p>
	
<p>Pressurização do macaco com incrementos constantes até se atingirem as distâncias iniciais</p>	<p>Finalização do ensaio simples após restabelecidas as distâncias iniciais</p>

Figura 19: Esquema geral do protocolo do ensaio simples



Figura 20: Visão geral da realização de um ensaio simples

A realização do ensaio duplo pressupõe a realização prévia de um ensaio simples pelo que o rasgo utilizado para o ensaio simples vai ser usado para o ensaio duplo.

Complementarmente, devem seguir-se os seguintes procedimentos:

- Abertura do novo rasgo paralelamente ao rasgo realizado para o ensaio simples, conforme o previsto nas normas e limpeza do mesmo;
- Colocação do macaco no novo rasgo calçando-o se necessário;
- Colocação de potenciômetros de monitorização dos deslocamentos conforme o previsto nas normas;
- Ligação dos macacos em paralelo ao sistema de pressurização, por forma a serem aplicados incrementos de tensão iguais nos dois macacos;
- Aplicação de ciclos de carga/descarga com aumento/diminuição gradual dos níveis de tensão através de incrementos constantes;

- Durante a realização dos ciclos carga/descarga efectuar-se a monitorização das deformações através de um sistema de aquisição ligado a um computador portátil, registando os valores fornecidos pelos potenciómetros;
- Restabelecimento da forma inicial dos macacos.

Acrescem ainda aos procedimentos anteriores todos os procedimentos de segurança e de boas práticas que na realização do ensaio se justificarem, de forma a manter a integridade do ensaio e dos respectivos operadores. Na Figura 21 apresenta-se uma esquematização do protocolo do ensaio duplo e na Figura 22 uma vista geral dos ensaios duplos realizados.





	
Execução de corte paralelo ao corte realizado para o ensaio simples	Colocação do macaco na zona de corte
	
Colocação de sensores verticais e horizontal	Ligação ao sistema de pressurização e execução do ensaio

Figura 21: Protocolo do ensaio duplo



Figura 22: Realização de ensaio duplo

A realização de ensaios de forma a resistência e comportamento ao corte é ainda pouco difundido, mas a sua realização é possível. A metodologia de ensaio é a seguir descrita:

- Abertura de dois rasgos verticais na zona da junta da parede de alvenaria;
- Colocação de um macaco plano num dos rasgos;
- Colocação de um sistema de medição de deslocamentos no rasgo que não tem nenhum macaco, através de miras previamente coladas;
- Pressurização do macaco através de uma bomba hidráulica;
- Registo das deformações para cada incremento de tensão.

Na Figura 23 apresenta-se vista geral do procedimento de ensaio para avaliação da resistência e comportamento ao corte usando macacos planos.



Figura 23: Esquema de ensaio ao esforço transversal com macacos planos [20]

3.13 Interpretação dos Resultados do Ensaio

3.13.1 Ensaio simples

Como referido anteriormente os ensaios simples permitem a avaliação da tensão instalada na parede na zona ensaiada. Este valor é obtido através da seguinte equação:

$$\sigma_i = p \times km \times ka \text{ (kPa)} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

p – Pressão registada no manómetro à saída do sistema de pressurização, quando reposto o valor da tensão às condições iniciais da parede de alvenaria (kPa);

km – Coeficiente adimensional ($<1,0$), obtido na calibração do macaco. É a razão entre a pressão no interior do macaco e a pressão registada à saída do sistema de pressurização.

ka – Coeficiente adimensional ($<1,0$), que traduz a relação entre a área efectiva de aplicação de carga na alvenaria e a área do macaco.

3.13.2 Ensaios duplos

Na avaliação dos resultados dos ensaios duplos a determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade também é afectada pelos valores dos valores dos coeficientes de correcção

k_m e k_a . Como se efectua o uso de dois macacos planos em rasgos paralelos, o valor a usar no cálculo é a média aritmética das constantes k_m e k_a para cada um dos macacos. No caso da avaliação do módulo de elasticidade, E , o valor é obtido pela leitura do gráfico tensão-extensão e pela aplicação da equação seguinte:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_i}{L_i} \text{ (mm/mm)} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que,

ε - Extensão média estimada (mm/mm)

L_f – Distância final medida entre os pontos (mm)

L_i – Distância inicial medida entre os pontos (mm)

Quanto à resistência à compressão esta pode ser avaliada pelo valor máximo de tensão, $\sigma_{m\acute{a}x}$, no gráfico tensão versus extensão do ensaio com macacos planos duplo.

Pelos valores obtidos para o ensaio duplo pode ainda determinar-se o valor do coeficiente de Poisson do material. Para isso torna-se necessário efectuar o traçado da média dos alinhamentos verticais e verificar a extensão máxima (ε_v) e a extensão relativa ao alinhamento horizontal (ε_L). Obtidos estes valores e pela aplicação da equação 3 efectua-se o cálculo do coeficiente de Poisson (ν).

$$\nu = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_v} \quad (\text{Eq. 3})$$

3.14 Condicionantes a ter em conta nos resultados finais

Na realização dos ensaios com macacos planos são assumidas uma série de premissas que são consideradas existentes em todos os momentos experimentais. Não obstante, na interpretação dos resultados experimentais deve-se ter em atenção os condicionantes que tendem a existir tais como [26]:

- Quando o pano de alvenaria a ensaiar apresenta uma dispersão dos elementos de alvenaria irregular é difícil efectuar-se o corte do rasgo na zona da junta podendo ter-se que efectuar o corte de alguns elementos de alvenaria;

- Variação do estado de tensão durante e após as operações de corte do rasgo, devidas à operação de corte e à heterogeneidade da alvenaria;
- Depois de efectuado o rasgo para inserção do macaco plano os valores dos deslocamentos não são constantes ao longo do rasgo, originando esforços de tracção na zona central do rasgo e esforços de compressão nas zonas limite do rasgo;
- Devido aos diferentes estados de tensão no rasgo, quando se pressuriza o macaco de modo a repor-se o estado de tensão inicial, não é possível obter nos 4 pontos de medição de deslocamentos, os valores iniciais de posição das miras;
- No caso de a estrutura apresentar materiais muito heterogéneos e de fraca qualidade torna-se difícil a interpretação dos resultados do ensaio;
- A realização de cortes perfeitamente horizontais e paralelos para a realização de ensaios duplos é muito difícil de alcançar na prática;
- A colocação dos dispositivos de medição dos deslocamentos depende muito da disposição dos elementos de alvenaria e das juntas entre os mesmos;
- Variação dos resultados dos ensaios dependentemente da zona de ensaio escolhida. As zonas de cunhais, aberturas de janelas, portas e zonas de espessura de paredes diferenciadas devem ser evitadas pois o estado de tensão é consideravelmente diferente do restante pano de alvenaria;
- No caso de estruturas com poucos pisos por vezes não é possível garantir uma reacção adequada à pressão exercida no macaco, sendo os resultados de difícil interpretação.

Capítulo 4

Caracterização dos edifícios estudados

4. Caracterização dos edifícios estudados

4.1. Enquadramento

A reabilitação de edifícios requer um conhecimento do tipo de materiais empregues, tipologia e características para assim se procurarem as melhores soluções sem métodos e materiais muito intrusivos.

De tal modo a caracterização dos materiais tem elevada importância numa boa estratégia de reabilitação. Actualmente, existe um leque enorme de soluções que permitem quantificar estas características desde ensaios destrutivos, não destrutivos e semi-destrutivos.

No acto da reabilitação interessa manter a integridade e características originais do edifício pelo que o recurso a ensaios não destrutivos ou semi-destrutivos traz grande relevância.

Para tal, na caracterização de paredes de alvenaria de adobe recorreu-se ao uso de uma técnica semi-destrutiva, o uso de ensaios com macacos planos. Estes ensaios permitiram caracterizar algumas propriedades dos materiais acerca de alguns parâmetros fundamentais na análise da segurança estrutural destas edificações.

4.2. Descrição dos ensaios efectuados

A utilização de ensaios com macacos planos para a análise de paredes de alvenaria é amplamente divulgada por todo o mundo [2, 6, 20 e 27]. Os macacos planos aparecem sobre diversas geometrias que vão desde o rectangular ao semi-oval e ao semi-circular. O conhecimento das características mecânicas das paredes pode ser obtido através do uso de qualquer um destes três tipos de geometrias dos macacos. No entanto através desta campanha de ensaios tentou-se desmistificar algumas diferenças de resultados, usando-se as diferentes geometrias dos macacos planos enunciadas sobre o mesmo plano de paredes. Para tal seleccionaram-se paredes dentro dos mesmos edifícios em que as condições na zona de ensaio fossem semelhantes, e realizaram-se ensaios simples e duplos com as três geometrias de macacos. Para tal e cumprindo as normas

RILEM [23, 24] e ASTM [18,19] seleccionaram-se paredes com vãos extensos que auferissem as dimensões mínimas regulamentares para se realizarem no mesmo alinhamento três conjuntos de ensaios, simples e duplos utilizando as diferentes geometrias dos macacos planos.

4.3. Caracterização dos edifícios estudados

O edifício nº1, doravante denominado por edifício A (ver Figura 24), localizado na Rua Aires Barbosa nº13, no centro da cidade de Aveiro, corresponde a uma habitação unifamiliar com um único piso constituído por paredes de adobe.

O edifício é composto com uma pequena área em planta que se divide por cinco compartimentos de pequenas áreas. A cobertura apresenta um escoamento de quatro águas e é constituída com telha tipo Marselha. O revestimento exterior das paredes é constituído por um reboco com características semelhantes às da alvenaria, isto é, uma mistura de terra, cal e água.

É de salientar que o edifício foi recentemente devoluto, mas que se encontra em bom estado de conservação, sem problemas estruturais visíveis ou aparentes, sendo desta forma representativo das construções em adobe. Foram observadas algumas patologias de carácter não estrutural tais como a degradação do adobe e dos seus revestimentos, a presença de humidades e manchas, bem como a queda parcial de parte da cobertura.

Por inspecção às fundações constatou-se a inexistência de um muro de pedra típico para estas construções. Como consequência foi possível observar em algumas zonas a degradação dos blocos de adobe e a indiferenciação entre a zona de junta e os blocos.



Figura 24: Alçado frontal do edifício A

O edifício nº2, doravante denominado por edifício B, encontra-se localizado na Rua Mário Sacramento nº84 no centro da cidade de Aveiro e trata-se de uma habitação com dois pisos. O primeiro piso térreo é constituído por paredes de alvenaria de adobe e o segundo piso constituído por paredes de tabique. A cobertura divide-se em duas águas com uma estrutura resistente em madeira e revestimento de em telha do tipo Marselha.

O primeiro piso trata-se de uma zona destinada a arrumos e o segundo piso é destinado à habitação. O edifício faz fronteira lateralmente com dois edifícios (edifício pertencente a construção em banda), sendo que um dos quais tem geometria e características semelhantes e o outro faz apenas fronteira parcial, visto o edifício vizinho se encontrar mais recuado (ver Figura 25).

Os revestimentos das paredes exteriores são efectuados em azulejo na fachada frontal sendo as restantes em reboco efectuado com uma mistura de terra, cal e água. As paredes interiores são revestidas com uma mistura de terra, cal e água, enquanto os pavimentos e tectos são revestidos a madeira.

Quanto a patologias o edifício apresenta queda parcial da cobertura, assim como existe degradação dos revestimentos. As patologias presentes no edifício não afectam as condições de segurança do mesmo. De notar que após realização de ensaios este edifício por força do plano urbanístico para a cidade de Aveiro.



Figura 25: Alçado frontal do edifício B

O terceiro edifício estudado, posteriormente denominada edifício C, situa-se na Rua Direita s/n, Requeixo, no distrito de Aveiro. Trata-se de uma habitação nobre com valor arquitectónico e patrimonial de construção secular estando as suas origens ligadas a famílias nobres portuguesas. O edifício é composto por uma zona principal para habitação constituída por dois pisos e por uma zona de arrumos de apenas um piso

As paredes do primeiro piso do edifício têm uma diversidade de materiais existindo zonas de paredes de adobe, de constituições distintas, e paredes de pedra de Eirol. Esta diversidade de materiais teve como origem épocas de construção e conservação muito distintas. O segundo piso, é construído em paredes em tabique. Os pavimentos são constituídos estruturalmente por vigas de madeira que descarregam directamente sobre as paredes. A estrutura do pavimento é ainda constituída por barrotes e revestida com soalho. A cobertura também é constituída por uma estrutura de madeira com revestimento de telha do tipo Marselha, sendo uma cobertura de quatro águas. Na Figura 26 apresenta-se uma vista geral do edifício C.



Figura 26: Vista geral edifício C

Foi efectuada uma inspecção visual ao edifício tendo-se detectado diferentes técnicas e materiais construtivos na composição do edifício. Estas informações foram confirmadas pelo actual proprietário, descendente dos originais donos, o que indica que a propriedade terá sido construída em diferentes épocas. Por tais factos é possível identificar estruturas de betão armado, revestimentos em argamassa de cimento em zonas do edifício para além dos materiais supracitados.

Apesar das obras que foram efectuadas o edifício apresenta na actualidade uma série de patologias entre as quais o aparecimento de vegetação, destacamento de revestimentos, que não afectam a segurança estrutural das paredes e dos restantes elementos de suporte.

Os três edifícios estudados são edifícios pertencentes ao distrito de Aveiro e a sua localização geográfica é apresentada na Figura 27.



Figura 27: Localização geográfica dos edifícios estudados

4.4. Estimativa das tensões instaladas

De forma a efectuar-se uma estimativa das tensões instaladas na zona de ensaio torna-se primordial conhecer a geometria e dimensões da parede, assim como as cargas provenientes dos pisos e da cobertura. É ainda importante conhecer as características dos materiais utilizados para assim se obter uma estimativa mais realista. Após se conhecer a geometria e materiais utilizados e por consulta dos valores característicos dos materiais podem-se então obter as tensões instaladas nas zonas de ensaio.

É importante referir que os ensaios foram realizados sobre o mesmo pano de parede em que as tensões de cálculo seriam idênticas. Na realização do cálculo considerou-se apenas os pesos próprios dos elementos (*PP*), não se considerando, nenhuma sobrecarga adicional. A metodologia de cálculo utilizada foi a seguinte:

- Peso próprio da parede

$$PP_{parede} = (h_p - h_e) \times \gamma \times e_p \quad (\text{Eq. 3})$$

,em que:

- h_p é a altura da parede (m);
- h_e é a altura da zona ensaiada (m);
- γ é o peso volúmico do material (kN/m³);
- e_p é a espessura da parede (m).

No caso do edifício ser constituído por mais de um piso e existirem paredes que influenciem a tensão na parede ensaiada o procedimento de cálculo é semelhante. O cálculo, se necessário, do peso próprio de outras paredes para além da parede do rés-do-chão (R/C) é calculado por:

$$PP_{outras\ paredes} = h_p \times \gamma \times e_p \quad (\text{Eq. 4})$$

O significado das constantes é mesmo que o referido para a equação 3.

- Peso próprio da cobertura

Na obtenção da tensão instalada, a influência da cobertura é dada por:

$$PP_{cobertura} = P \times l \text{ (kN/m)} \quad (\text{Eq. 5})$$

, em que:

- P é o peso do material constituinte da cobertura (kN/m²);
- l é comprimento da cobertura (m).

- Peso próprio dos pavimentos

O peso próprio dos pavimentos é calculado por:

$$PP_{Pavimentos} = P \times l \text{ (kN/m)} \quad (\text{Eq.6})$$

, em que:

- P é o peso do material constituinte da cobertura (kN/m^2);
- l é comprimento da cobertura (m).

- Estimativa de tensão instalada na zona de ensaio

A estimativa de tensões instaladas na zona de realização do ensaio simples com macacos planos é calculada pela razão entre o somatório dos pesos próprios que influenciam o estado de tensão e a espessura da parede de alvenaria.

Os valores das propriedades dos materiais necessários para a realização da estimativa analítica das tensões foram retiradas das Tabelas Técnicas [22].

4.4.1 Cálculo da estimativa de tensões instaladas nas paredes referentes ao edifício A

Relativamente à parede ensaiada no edifício A, e desprezando as sobrecargas adicionais, obtém-se as seguintes acções permanentes:

- Peso Próprio da parede

A parede tem uma altura de 3,4m e espessura de 0,35m e é constituída por adobe, $\gamma=16.67\text{kN/m}^3$

No cálculo do peso próprio da parede descontou-se o valor da altura de colocação do macaco plano para realização do ensaio simples, desde o início da parede até a zona de corte (0,7m). Temos assim:

$$PP_{parede} = (3,4 - 0,7) \times 16,67 \times 0,35 \leftrightarrow PP_{parede} = 16,065 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio da cobertura

Considerando uma cobertura em telha Marselha incluindo ripas e varas ($P=0,65 \text{ kN/m}^2$):

$$PP_{cobertura} = 0,65 \times 4,2 \leftrightarrow PP_{cobertura} = 2,730 \text{ kN/m}$$

Estimativa de tensão na zona de ensaio:

$$\begin{aligned} \sigma(\text{estimado}) &= (16,06 + 2,73) \div 0,35 \leftrightarrow \sigma(\text{estimada}) = 53,70 \text{ kPa} \\ &\leftrightarrow \sigma(\text{estimada}) = 0,054 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Este valor de tensão instalada servirá de valor de comparação com os valores de tensão para o ensaio simples.

4.4.2 Cálculo da estimativa de tensões no edifício B

Para o edifício B temos as seguintes acções permanentes:

- Peso Próprio da parede do rés-do-chão

A parede do rés-do-chão tem uma espessura de 0,30m, uma altura de 3,80m e é constituído por adobe, $\gamma=16.67\text{kN/m}^3$

No cálculo do peso próprio da parede descontou-se o valor da altura de colocação do macaco plano para realização do ensaio simples, desde o início da parede até a zona de corte (0,50m).

$$PP_{parede \text{ R/C}} = (3,80 - 0,50) \times 16,67 \times 0,30 \leftrightarrow PP_{parede \text{ R/C}} = 16,50 \text{ kN/m}$$

- Peso Próprio da parede de tabique do 1º piso

A parede do 1º piso tem uma espessura de 0,18m, uma altura de 3,5m e é constituído por tabique, $\gamma=8,05\text{kN/m}^3$

$$PP_{\text{parede 1º piso}} = 3,50 \times 8,05 \times 0,18 \leftrightarrow PP_{\text{parede 1º piso}} = 5,07 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio da cobertura e revestimento do tecto do rés-do-chão

Considerando uma cobertura em telha Marselha incluindo ripas e varas ($P=0,65 \text{ kN/m}^2$) e um comprimento de 7,90m:

$$PP_{\text{cobertura}} = 0,65 \times 7,9 \leftrightarrow PP_{\text{cobertura}} = 5,14 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio do pavimento do 1º piso

Por inspecção visual verificou-se que o pavimento era constituído por um soalho sobre vigas e barrote de madeira. Para efeito de cálculo considerou-se um soalho de madeira de 0,022m sobre vigas de madeira afastadas de 0,40m eixo a eixo – $0,50\text{kN/m}^2$

$$PP_{\text{pavimentos}} = 0,50 \times 7,90 \leftrightarrow PP_{\text{pavimentos}} = 3,96 \text{ kN/m}$$

A estimativa de tensão na zona de ensaio é:

$$\sigma(\text{estimada}) = (16,50 + 5,07 + 5,14 + 3,96) \div 0,30 \leftrightarrow \sigma(\text{estimada}) = 102,24\text{kPa} \\ \leftrightarrow \sigma(\text{estimada}) = 0,102\text{MPa}$$

Este valor de tensão instalada servirá de valor de comparação com os valores de tensão para o ensaio simples.

4.4.3 Cálculo da estimativa de tensões no edifício C

Para o edifício C temos as seguintes acções permanentes (desprezando as sobrecargas):

- Peso Próprio da parede do rés-do-chão

A parede do rés-do-chão tem uma espessura de 0,3m, uma altura de 4 m e é constituído por adobe, $\gamma=16.67\text{kN/m}^3$

No cálculo do peso próprio da parede descontou-se o valor da altura de colocação do macaco plano para realização do ensaio simples, desde o início da parede até a zona de corte (0,55m).

$$PP_{\text{parede R/C}} = (4 - 0,55) \times 16,67 \times 0,30 \leftrightarrow PP_{\text{parede R/C}} = 17,25 \text{ kN/m}$$

- Peso Próprio da parede de tabique do 1º piso

A parede do 1º piso tem uma espessura de 0,20m, uma altura de 3,5m e é constituído por tabique, $\gamma = 8,05\text{kN/m}^3$

$$PP_{\text{parede 1º piso}} = 3,5 \times 8,05 \times 0,20 \leftrightarrow PP_{\text{parede 1º piso}} = 5,64 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio da cobertura e revestimento do tecto do rés-do-chão

Considerando uma cobertura em telha Marselha incluindo ripas e varas ($P=0,65 \text{ kN/m}^2$) e um comprimento de 7,50m:

$$PP_{\text{cobertura}} = 0,65 \times 7,50 \leftrightarrow PP_{\text{cobertura}} = 4,88\text{kN/m}$$

- Peso próprio do pavimento do 1º piso

Por inspecção visual verificou-se que o pavimento era constituído por um soalho sobre vigas e barrotes de madeira. Para efeito de cálculo considerou-se um soalho de madeira de 0,022m sobre vigas de madeira afastadas de 0,40m eixo a eixo – 0,50kN/m²

$$PP_{Pavimentos} = 0,50 \times 7,50 \leftrightarrow PP_{Pavimentos} = 3,75 \text{ kN/m}$$

Temos então para a estimativa de tensão na zona de ensaio:

$$\begin{aligned}\sigma(\text{estimada}) &= (17,25 + 5,64 + 4,88 + 3,750) \div 0,30 \leftrightarrow \sigma(\text{estimada}) \\ &= 105,07 \text{ kPa} \leftrightarrow \sigma(\text{estimada}) = 0,106 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Este valor de tensão instalada servirá de valor de comparação com os valores de tensão para o ensaio simples.

Capítulo 5

Campanha experimental

5. Campanha experimental

5.1. Enquadramento e objectivos

A campanha de ensaios realizados sobre paredes de alvenaria de adobe teve como objectivo efectuar o estudo das suas propriedades. Para tal efectuaram-se no distrito de Aveiro ensaios com macacos planos, simples e duplos, tendo como objectivo a obtenção da estimativa da tensão instalada nas paredes, a tensão máxima atingida como indicador da tensão resistente e o módulo de elasticidade da alvenaria.

Sendo também o propósito da análise experimental a comparação dos valores obtidos para os diversos formatos de macacos planos, semi-oval, semi-circular e rectangular utilizados nos ensaios. A escolha dos edifícios a ensaiar, assim como as paredes teve elevada expressão, sendo que interessavam paredes com dimensões em planta suficientes para a realização de três ensaios sobre um mesmo pano de parede com propriedades morfológicas semelhantes. Neste sentido as paredes tinham que ser desprovidas singularidades que pudessem comprometer os resultados e em que o estado de tensão não fosse consideravelmente diferente.

Na Tabela 2 apresentam-se os ensaios realizados para cada um dos edifícios estudados.

Tabela 2: Síntese dos ensaios realizados

Edifício	Localização do edifício	Tipo de secção do macaco		
		Rectangular	Semi-oval	Semi-circular
A	Rua Aires Barbosa nº13, Aveiro	1S+1D	1S+1D	1S+1D
B	Rua Mário Sacramento nº84, Aveiro	1S+1D	1S (*)	1S+1D
C	Rua Direita s/n, Requeixo	1S+1D	1S+1D	1S+1D

S- Ensaio com macacos planos simples; D- Ensaio com macacos planos duplos
 (*) Não foi realizado ensaio com macacos planos duplos devido à demolição do edifício

5.2. Cálculo do parâmetro km

Antes de se iniciar a campanha de ensaios tornou-se necessário efectuar a determinação do factor de calibração, km . Este parâmetro adimensional permite a conversão entre a pressão interna do sistema de pressurização (bomba hidráulica), lida no manómetro à saída e a pressão que está a ser aplicada na alvenaria pelos macacos, no momento do ensaio. A metodologia de determinação deste parâmetro encontra-se descrita em 3.9.

Antes do início do processo de obtenção do parâmetro km , tornou-se necessário identificar todos os macacos planos com uma nomenclatura própria de forma a evitar a troca dos parâmetros associados a cada macaco. Decidiu-se então recorrer a um sistema constituído pelas iniciais dos formatos dos macacos e uma numeração a variar entre um e o número máximo de macacos disponíveis. Temos assim para os macacos rectangulares o código MRx, para os macacos semi-circulares MSCx e para os macacos semi-ovais MSOx, em que x para cada código corresponde a um número nunca igual entre os macacos do mesmo formato.

Tabela 3: Valores obtidos na calibração de macaco plano MR1

Macaco plano	MR1		
Área do macaco plano (m ²)	0,036		
Peso das placas de aço (kg)	552,3746	→	5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	<i>km</i>
5	0,290	0,289	0,997
10	0,500	0,428	0,853
15	0,710	0,567	0,799
20	0,900	0,706	0,782
25	1,090	0,845	0,772
30	1,280	0,984	0,769
		<i>km</i> médio =	0,829

Na Tabela 3 estão presentes os valores obtidos para calibração do macaco rectangular identificado como MR1. Os restantes valores estão em presentes no Anexo A.

De seguida apresentam-se os valores do coeficiente adimensional *km* para os diversos macacos disponíveis (ver Tabela 4). De referir que para os macacos que se encontravam danificados ou que apresentavam perdas não se efectuou a determinação deste parâmetro.

Tabela 4: Quadro resumo dos valores obtidos na calibração dos diversos macacos planos

Macaco Plano	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MSO2	MSO4	MSC1	MSC2
<i>km</i>	0,829	0,820	0,768	0,736	0,817	0,887	0,626	0,801	0,815

5.3. Cálculo do parâmetro k_a

O parâmetro k_a estabelece a relação entre a área em que é exercida pressão e a área do macaco. A determinação deste parâmetro adimensional foi realizado segundo o procedimento de cálculo citado no ponto 5.3. Na Figura 28 apresenta-se um exemplo do processo de determinação de k_a .

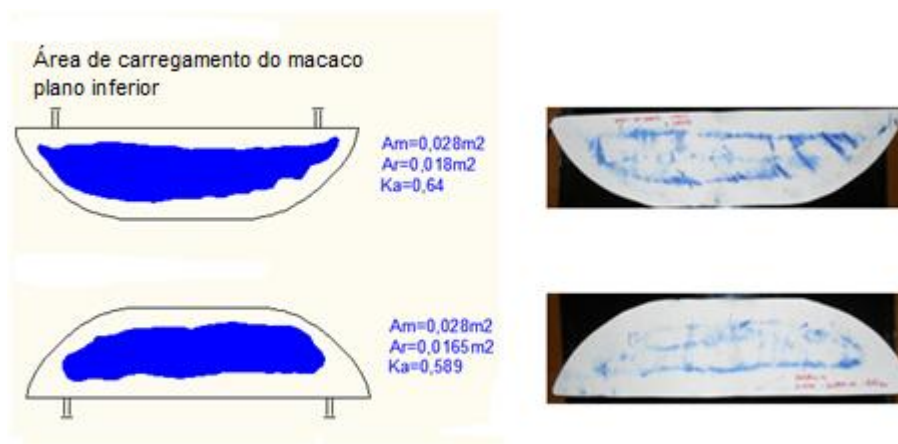


Figura 28: Exemplo de determinação da área efectiva de carregamento com recurso a papel químico

5.4. Ensaio simples

5.4.1 Descrição

Como já referido no ponto 3.5.1, o ensaio com macacos planos simples permite avaliar ao mesmo nível da secção da parede, a tensão a que a parede está sujeita face ao carregamento vertical a que está submetida. O procedimento de ensaio utilizado na realização dos ensaios simples encontra-se descrito em 3.12.

5.4.2 Tratamento dos resultados

Na determinação do parâmetro k_a , para o ensaio simples, o cálculo da área efectiva de carregamento deveria ser feita por cálculo das áreas impressas em folhas com o formato do macaco pelo papel químico no fim do ensaio simples. Sendo que posteriormente se realizou um ensaio

duplo utilizando o material do ensaio simples e devido às maiores tensões a que se realiza o ensaio duplo, a área de carregamento efectiva vai ser maior. Assim tornou-se necessário afectar o valor do parâmetro ka por uma relação do diferencial entre o contributo do carregamento nos ensaios simples e os ensaios duplos. Considerou-se para este efeito uma correcção de 34%, dando assim lugar aos ka 's corrigidos [12]. Os resultados do cálculo dos parâmetros km e ka corrigido são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores dos parâmetros km e ka para os ensaios simples realizados

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	km	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka corrigido
1	MR4	Rectangular	0,736	0,036	0,014	0,376	0,248
2	MSO2	Semi-oval	0,887	0,028	0,014	0,495	0,326
3	MSC1	Semi-circular	0,801	0,078	0,045	0,575	0,379
4	MR5	Rectangular	0,817	0,036	0,020	0,558	0,369
5	MSO4	Semi-oval	0,626	0,028	0,017	0,619	0,409
6	MSC3	Semi-circular	0,815	0,078	0,049	0,623	0,411
7	MR5	Rectangular	0,817	0,036	0,019	0,515	0,340
8	MSO4	Semi-oval	0,626	0,028	0,013	0,475	0,313
9	MSC3	Semi-circular	0,815	0,078	0,050	0,636	0,420

Com os valores de km e ka corrigido calculou-se a tensão corrigida, pela equação 1, apresentado no ponto 3.13.1.

5.4.3 Estimativa das tensões instaladas

Os resultados dos valores obtidos nos ensaios realizados são a seguir apresentados. Por questões de organização e facilidade de interpretação numeraram-se os ensaios da forma descrita na tabela a seguir apresentada. Na Tabela 6 apresenta-se a identificação do número de ensaios simples realizados e a respectiva localização.

Tabela 6: Identificação do número de ensaios simples realizados

Edifício	Localização do edifício	Tipo de secção do macaco		
		Rectangular	Semi-oval	Semi-circular
A	Rua Aires Barbosa nº13, Aveiro	1	2	3
B	Rua Mário Sacramento nº84, Aveiro	4	5	6
C	Rua Direita s/n, Requeixo	7	8	9

Por forma a apresentar os resultados de forma mais sintética optou-se por uma apresentação dos resultados tal como se esquematiza na Figura 29.

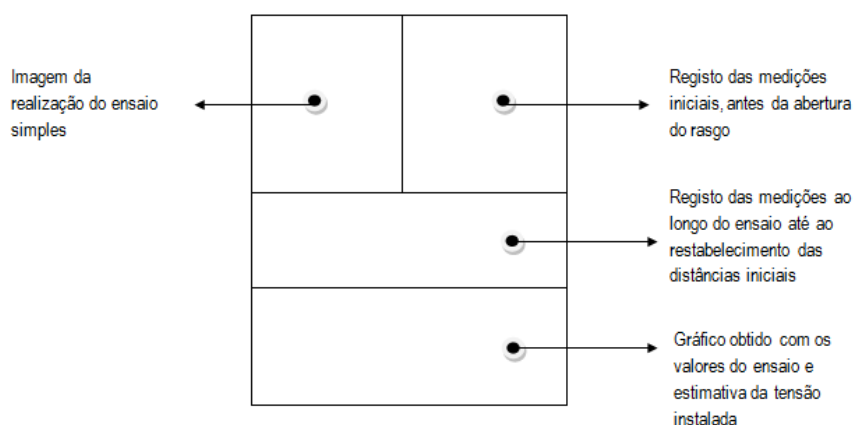


Figura 29: Esquema de apresentação dos resultados dos ensaios simples

➤ Ensaio n° 1,2 e 3

Na realização dos ensaios simples 1,2 e 3, não foi possível obter valores para o ensaio simples devido a problemas: i) de descolamento das miras; ii) distâncias medidas após o corte serem superiores às distâncias iniciais. Por tais factos não foram possíveis obter valores do estado de tensão.

➤ Ensaio n° 4

Na Figura 30 são apresentados os valores dos resultados do ensaio simples n°4 assim como a estimativa da tensão instalada.

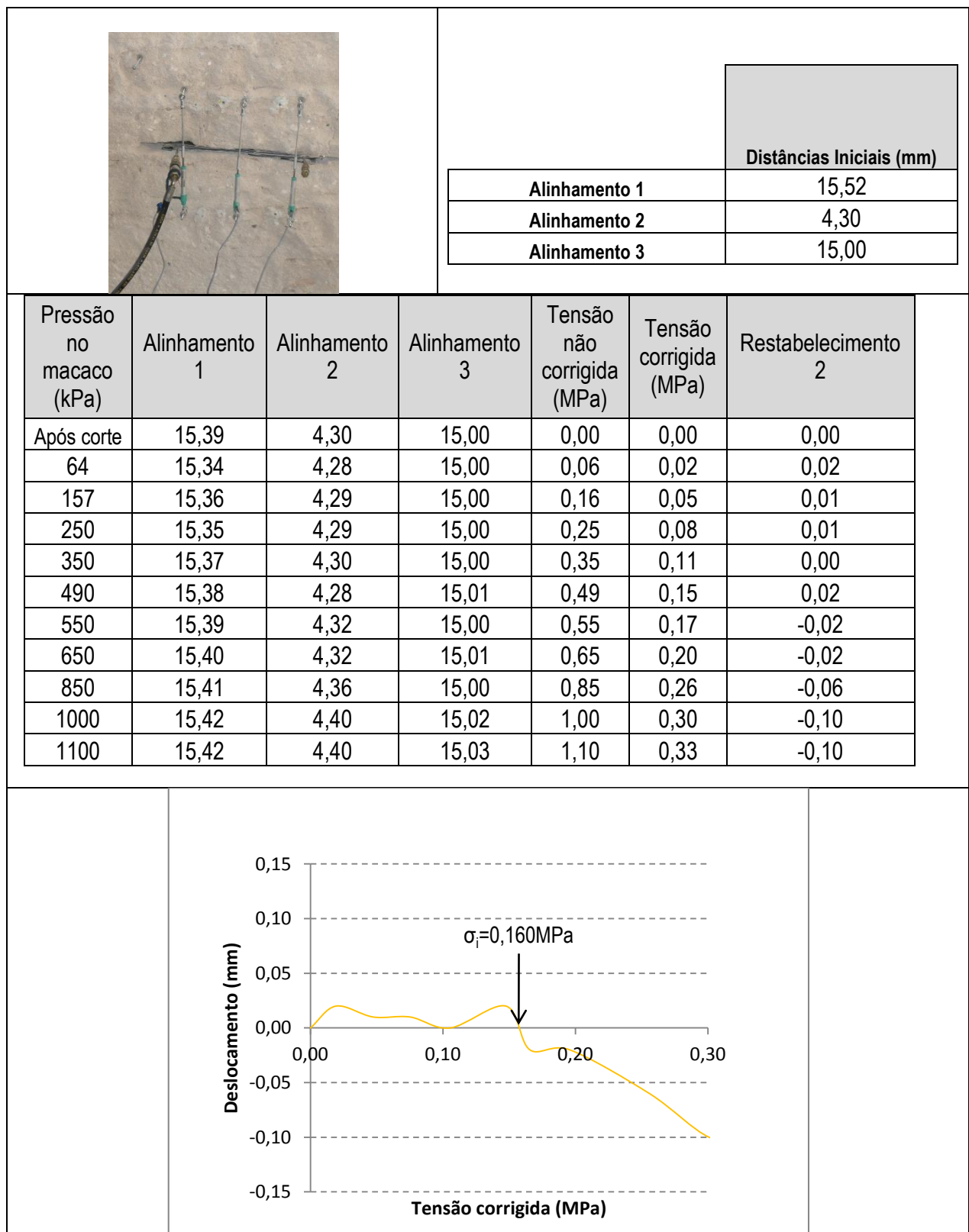


Figura 30: Estimativa da tensão instalada para o ensaio simples nº 4

As leituras efectuadas com o alongâmetro não permitiram a obtenção de valores fiáveis, sendo que as distâncias medidas com este sistema depois do corte da junta, são superiores às distâncias iniciais.

Na realização do ensaio simples, utilizando como sistema de medição o potenciômetro, não foi possível efectuar o restabelecimento das distâncias iniciais para os três alinhamentos (apenas ocorreu restabelecimento para o alinhamento 2), pelo que o valor da estimativa da tensão instalada foi estimado apenas pelo alinhamento que restabeleceu a distância inicial. O valor da tensão instalada para este ensaio é de $\sigma_i=0,160\text{MPa}$

➤ Ensaio 5

Na Figura 31 são apresentados os valores para a estimativa da tensão instalada para o ensaio simples nº5.

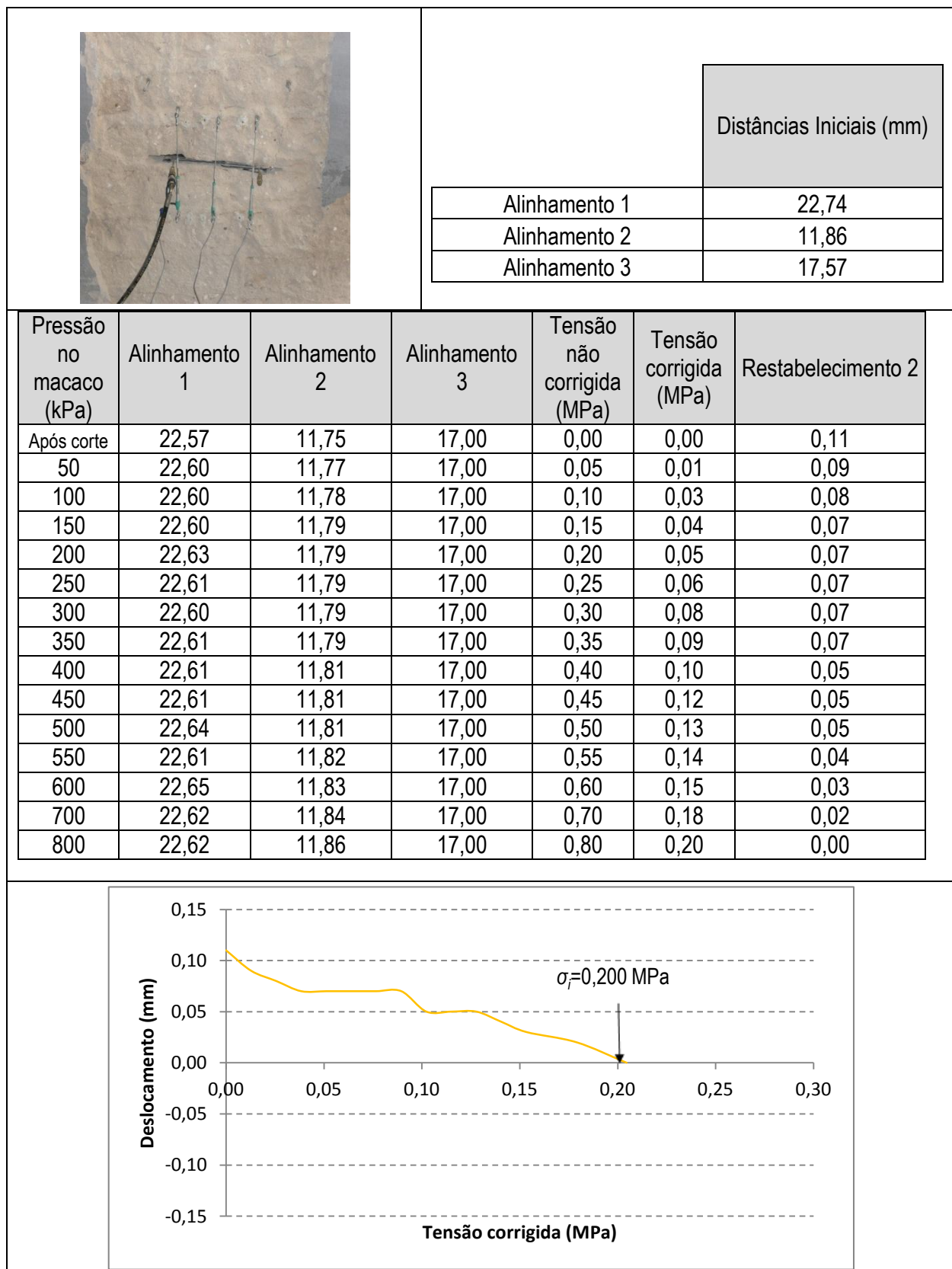


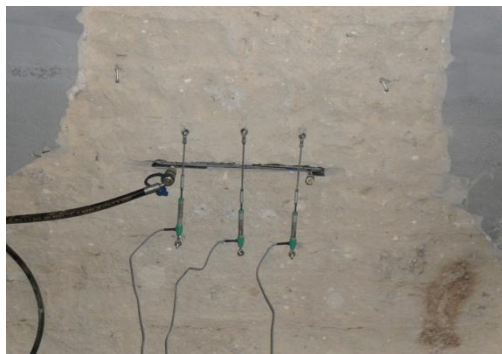
Figura 31: Estimativa da tensão instalada para o ensaio simples nº 5

Utilizando o alongâmetro com sistema de medição das distâncias não foi possível obter valores fiáveis, sendo que uma vez mais as distâncias medidas após o corte da junta são superiores às distâncias iniciais.

Assim como, no ensaio simples nº 4 não foi possível efectuar os restabelecimentos das distâncias iniciais para todos os alinhamentos (tendo apenas ocorrido no alinhamento 2) para o uso do potenciómetro.

➤ Ensaio 6

Os resultados obtidos durante a realização do ensaio simples nº 6 apresentam-se na Figura 32.



	Distâncias Iniciais (mm)
Alinhamento 1	21,49
Alinhamento 2	2,97
Alinhamento 3	17,8

Pressão no macaco (kPa)	Alinhamento 1	Alinhamento 2	Alinhamento 3	Tensão não corrigida (MPa)	Tensão corrigida (MPa)	Restabelecimento 1	Restabelecimento 2	Média (1 -- 2)
Após corte	21,49	2,91	17,75	0,00	0,00	0	0,06	0,03
50	21,40	2,94	17,70	0,05	0,02	0,09	0,03	0,06
100	21,42	2,91	17,69	0,10	0,03	0,07	0,06	0,065
150	21,43	2,91	17,70	0,15	0,05	0,06	0,06	0,06
250	21,45	2,93	17,70	0,25	0,08	0,04	0,04	0,04
370	21,45	2,99	17,74	0,37	0,12	0,04	-0,02	0,01
460	21,50	3,01	17,73	0,46	0,15	-0,01	-0,04	-0,03
510	21,50	3,06	17,78	0,51	0,17	-0,01	-0,09	-0,05
600	21,51	3,06	17,78	0,60	0,20	-0,02	-0,09	-0,06
690	21,55	3,10	17,81	0,69	0,23	-0,06	-0,13	-0,10

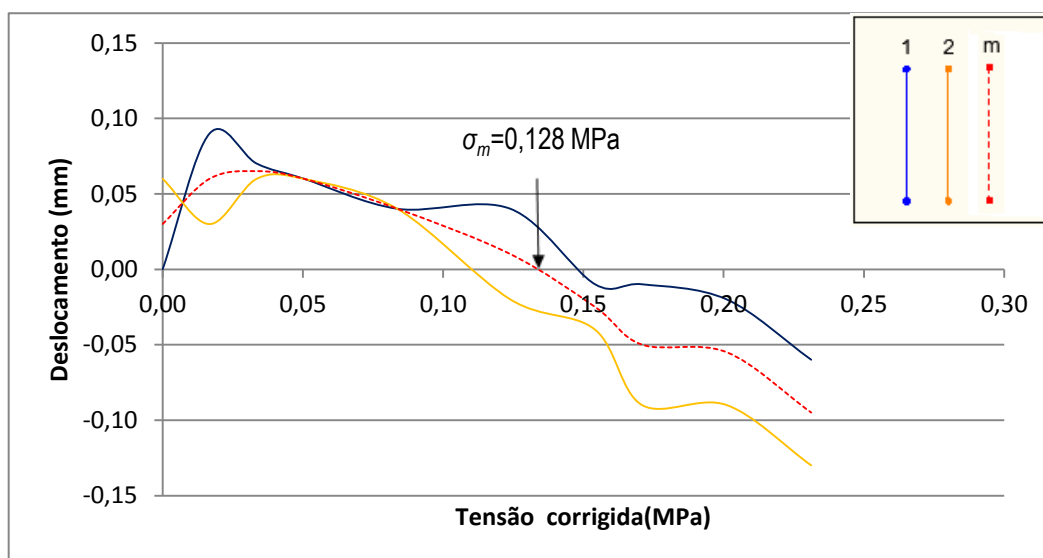


Figura 32: Estimativa das tensões instaladas para ensaio simples nº 6

Mais uma vez por erros ocorridos da utilização do alongâmetro, não foi possível concluir as medições necessárias para a realização do ensaio simples. No entanto recorrendo-se ao uso do potenciômetro foi possível efectuar o restabelecimento de dois alinhamentos, sendo que o alinhamento 3 não restabeleceu a distância inicial. Assim sendo, para a estimativa da tensão instalada usou-se a média dos alinhamentos 1 e 2 obtendo-se assim uma tensão instalada média de $\sigma_m=0,128$ MPa

Tendo em conta os erros ocorridos com o uso do alongâmetro decidiu-se apenas realizar medições com o potenciômetro nos ensaios nº 7, 8 e 9. Os resultados do ensaio para os ensaios nº 7,8 e 9 encontram-se em anexo.

Conforme os resultados apresentados o valor da tensão instalada na parede de alvenaria foi calculado para os valores médios dos alinhamentos verticais, isto é, o valor de tensão exercido pelo sistema de pressurização, corrigido pelos coeficientes k_a e k_m , para os alinhamentos verticais recuperarem as distâncias entre pontos fixos na alvenaria antes de se efectuar o corte da junta. O procedimento de ensaio estabelece que o restabelecimento das distâncias iniciais (antes da abertura do rasgo) deve ser alcançado para os vários alinhamentos verticais, no entanto, no decorrer da campanha de ensaio tal não foi possível em todos os casos pelo que se considerou a média dos alinhamentos em que ocorreu o restabelecimento das distâncias iniciais.

5.4.4 Análise dos resultados

Findo o processo de cálculo das tensões médias do ensaio simples torna-se necessário quantificar a variação dos valores obtidos em relação aos valores da tensão estimada por cálculo analítico efectuada no ponto 4.4.1 (ver Tabela 7).

Tabela 7: Resultados globais dos ensaios simples realizados

Ensaio nº	Tensão estimada por cálculo analítico (MPa)	Tensão média do ensaio (MPa)	Variação (%)	Observações
1	0,074	--	--	Descolamentos das miras
2	0,074	--	--	Valores erróneos do alongâmetro (distâncias superiores às iniciais)
3	0,074	--	--	Valores erróneos do alongâmetro (distâncias superiores às iniciais)
4	0,124	0,16	29	Valor próximo dos limites toleráveis
5	0,124	0,2	61	Rasgo de espessura elevada que obrigou ao uso de muitas chapas
6	0,124	0,128	3	Dentro dos limites toleráveis
7	0,135	0,11	19	Dentro dos limites toleráveis
8	0,135	0,12	11	Dentro dos limites toleráveis
9	0,135	0,12	11	Dentro dos limites toleráveis

Da comparação dos valores obtidos no ensaio com macacos planos simples, com os valores obtidos por estimativa de cálculo das tensões instaladas, verifica-se uma boa aproximação dos resultados obtidos com ensaios simples. Uma variação média de 24% no conjunto de ensaios, não se considerando o valor do ensaio nº 7 pela deficiente abertura do rasgo, traduz uma boa caracterização do estado de tensão das alvenarias de adobe. Este valor de variação encontra-se dentro dos limites de variância estipulados pelas normas ASTM de $\pm 24\%$ [18, 19]. Deste modo, constata-se que para este efeito o erro associado ao uso dos macacos planos na estimativa de tensões, independentemente da geometria do macaco utilizado, produz bons resultados.

5.5. Ensaios duplos

5.5.1 Descrição

A realização de ensaios duplos ocorre posteriormente aos ensaios simples, e é utilizada a zona de corte utilizada para o ensaio simples. Para a realização deste ensaio é ainda efectuada uma zona de corte paralela, acima do local do ensaio simples. Através dos ensaios duplos é possível caracterizar o comportamento mecânico da alvenaria ensaiada, entre os macacos planos. É possível estimar informações da alvenaria como o seu módulo de elasticidade e a sua resistência à

compressão. O procedimento de ensaio encontra-se descrito em 3.12. Na Tabela 8 são enumerados os ensaios duplos realizados e a localização dos mesmos.

Tabela 8: Identificação dos ensaios duplos realizados

Edifício	Localização do edifício	Tipo de secção do macaco		
		Rectangular	Semi-oval	Semi-circular
A	Rua Aires Barbosa nº13, Aveiro	1	2	3
B	Rua Mário Sacramento nº84, Aveiro	4	(*)	5
C	Rua Direita s/n, Requeixo	6	7	8
(*) Não foi realizado ensaio com macacos planos duplos devido a demolição do edifício				

5.5.2 Resultados obtidos

Assim como no ensaio simples registou-se a área do macaco que exerceu pressão sobre a parede através de papel químico colocado entre o contacto do macaco e da alvenaria. Com estes valores da área efectiva de contacto foi possível realizar o cálculo do parâmetro k_a . Ao contrário dos ensaios simples não é necessário efectuar correcção dos valores obtidos.

Quanto ao parâmetro k_m , a sua obtenção decorre do procedimento de calibração dos macacos. Na Tabela 9 é efectuada uma sistematização dos valores obtidos para os parâmetros k_a e k_m .

Tabela 9: Valores dos parâmetros ka e km para os ensaios duplos realizados

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	Área do macaco (m²)	Área efectiva de carregamento (m²)	ka	ka médio	km	km médio
1	MR5	Rectangular	0,036	0,021	0,579	0,439	0,736	0,776
			0,036	0,015	0,427			
	MR4	Rectangular	0,036	0,012	0,345		0,817	
			0,036	0,015	0,407			
2	MSO4	Semi-oval	0,028	0,015	0,533	0,513	0,887	0,756
			0,028	0,015	0,531			
	MSO2	Semi-oval	0,028	0,014	0,499		0,626	
			0,028	0,014	0,490			
3	MSC3	Semi-circular	0,078	0,040	0,514	0,544	0,801	0,808
	MSC1	Semi-circular	0,078	0,045	0,575		0,815	

Em cada ensaio duplo foram realizados vários ciclos de carga-descarga, em patamares de 200kPa, até a curva tensão-extensão do ensaio chegar a um patamar elasto-plástico, atingindo a cedência da parede

Após determinados os valores dos coeficientes km e ka , torna-se possível executar os gráficos tensão extensão obtidos para cada ensaio, sendo os valores da tensão calculados pela equação (1) que se apresenta no ponto 3.13.1.

→ Ensaio duplo nº 1

Na Figura 33 apresentam-se o gráfico tensão-extensão para o ensaio duplo nº1

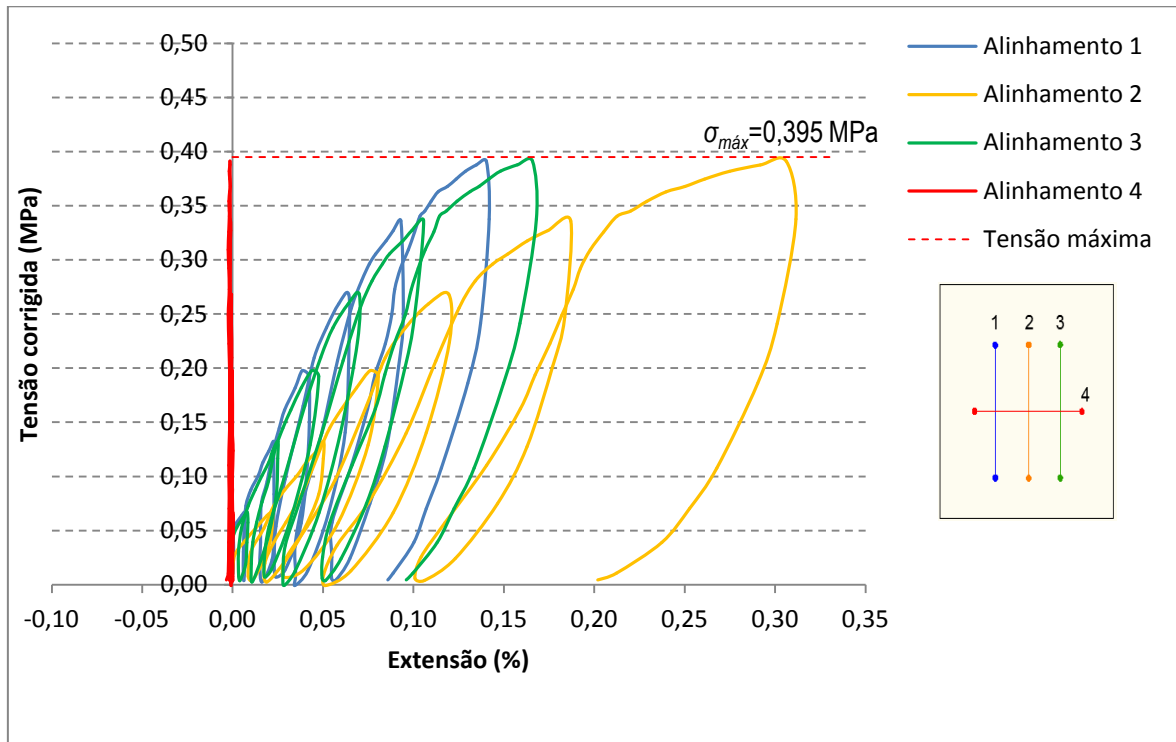


Figura 33: Resultados do ensaio duplo nº1

Da observação do gráfico σ - ϵ , constata-se valores de extensão para o alinhamento 2 superiores aos obtidos para os alinhamentos 1 e 2. Para os alinhamentos 1 e 2 os valores de extensão são muito semelhantes. Para este ensaio duplo obteve-se uma tensão máxima atingida, que traduz a capacidade resistente da parede de alvenaria de adobe de $\sigma_{m\acute{a}x} = 0,395 \text{ MPa}$.

→ Ensaio nº 2

Para o ensaio duplo nº2, a curva tensão-extensão obtida apresenta-se na Figura 34.

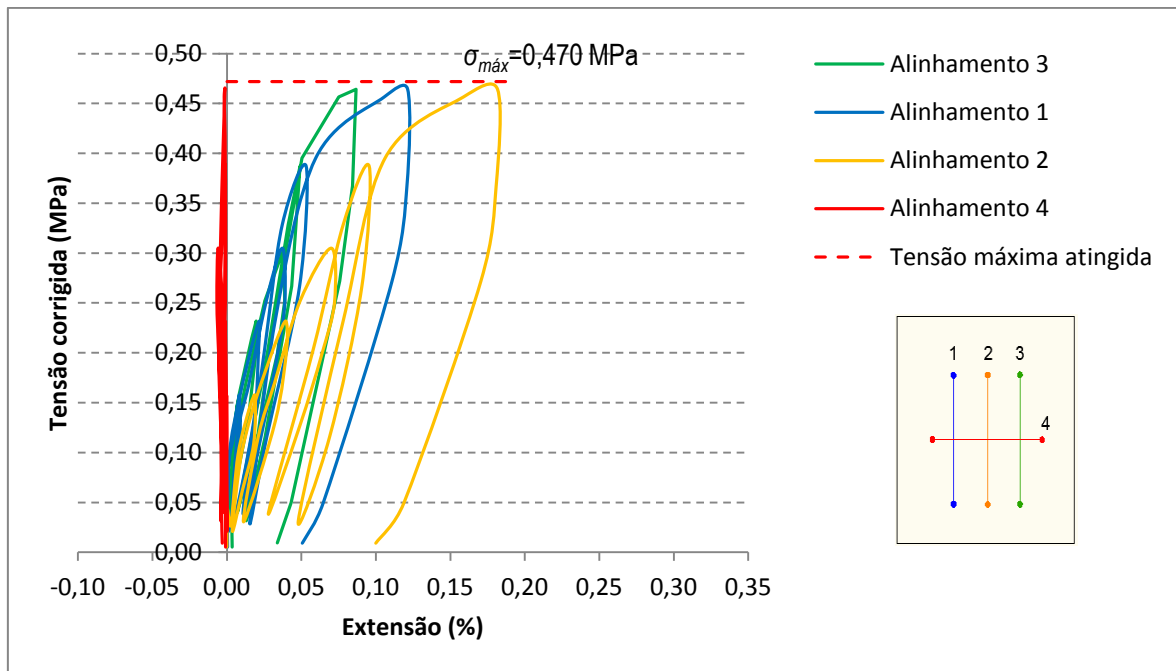


Figura 34: Resultados do ensaio duplo nº 2

Os resultados obtidos revelam valores de extensão diferentes para todos os alinhamentos, sendo que o alinhamento 3 apresenta valores inferiores no geral e o alinhamento 2 valores superiores. A capacidade resistente estimada por ensaio é de $\sigma_{m\acute{a}x}=0,470$ MPa.

→ Ensaio nº 3

Para o ensaio duplo nº3, realizado utilizando-se macacos planos de secção semi-circular obtiveram-se os valores presentes na Figura 35.

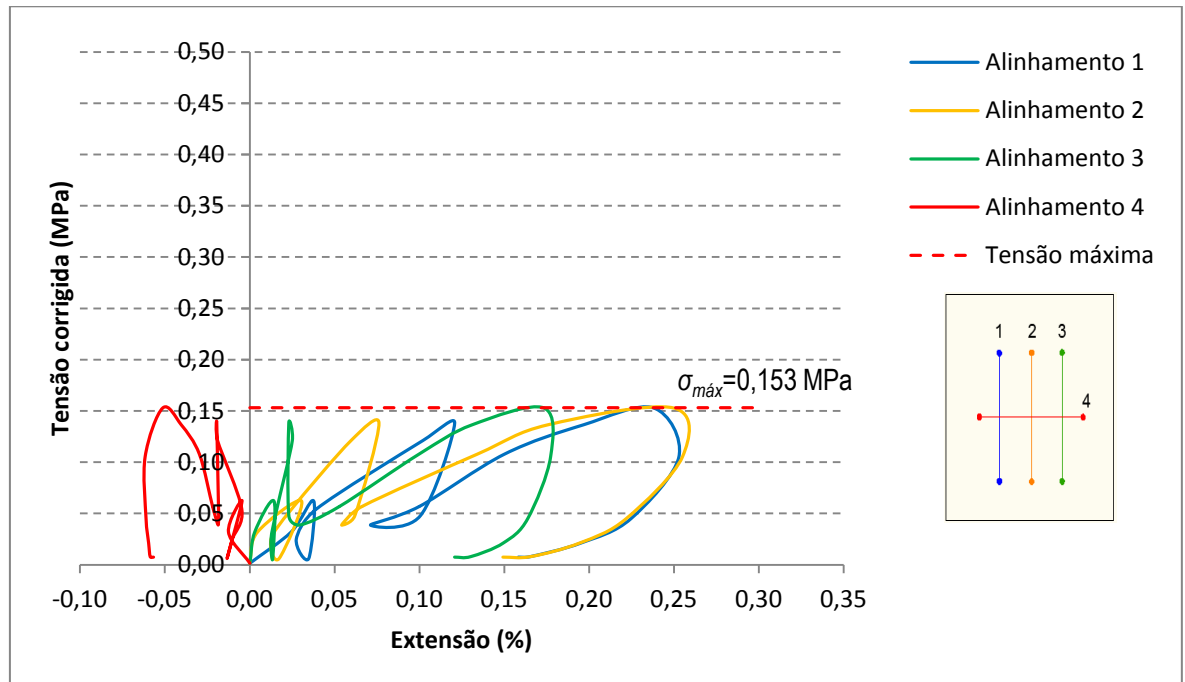


Figura 35: Resultados do ensaio duplo nº 3

Sendo os ensaios realizados em zonas de tensão semelhantes torna-se evidente o relativo desvio do valor da tensão máxima para o ensaio duplo nº 3. A zona do pano de alvenaria de adobe onde se realizou o ensaio estava localizada sob uma área em que pela queda parcial da cobertura, se encontrava bastante humedecida. Nos ensaios realizados num dia chuvoso era evidente a humedificação dos elementos de adobe, sendo difícil diferenciar as zonas de junta de assentamento e os blocos de adobe. Acresce ainda a isto, a falta na fundação, de uma parede de pedra, que leva à subida da humidade ascencial existente no sub-solo (ver Figura 36).



Figura 36: Pormenor da zona de arranque da parede de alvenaria e a fundação na zona do ensaio duplo 3

Nos resultados obtidos para este ensaio duplo são observáveis os efeitos nefastos da presença de humidade nos blocos de adobe, ocorrendo uma redução da resistência de $\sigma_{m\acute{a}x}=0,433$ MPa para a média dos outros dois ensaios realizados em adobes secos para $\sigma_{m\acute{a}x}=0,153$ MPa na zona húmida.

5.5.3 Coeficiente de Poisson (ν) e módulo de Elasticidade (E_0)

O traçado dos gráficos relativos às médias dos alinhamentos verticais e alinhamento horizontal permitem determinar a deformação vertical e lateral (ϵ_V e ϵ_L).

→ Ensaio duplo nº 1

Para o cálculo do coeficiente de Poisson, obtiveram-se os seguintes valores de deformação vertical e horizontal (ver Figura 37):

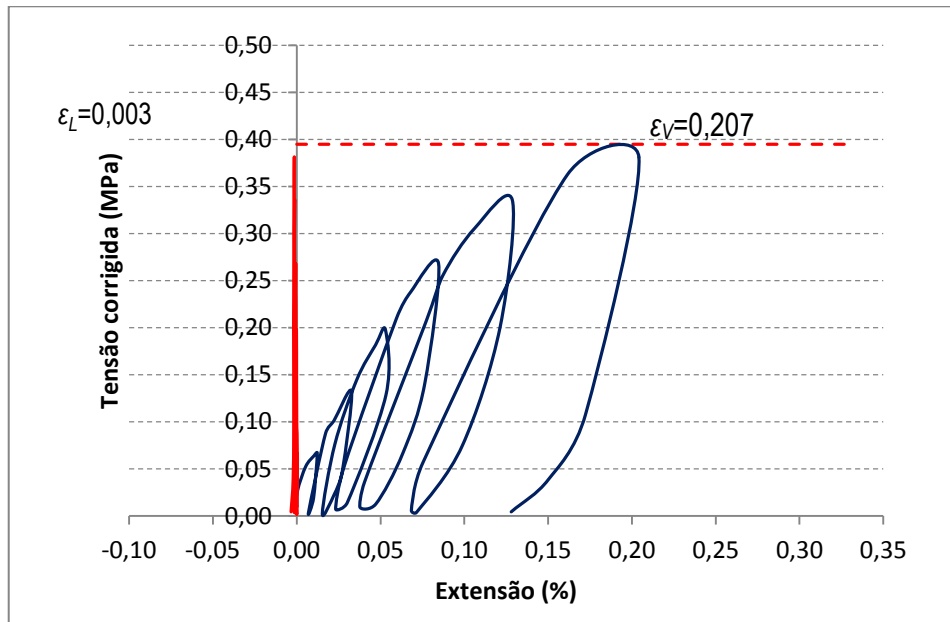


Figura 37: Cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 1

Como se constata pelo gráfico, obtiveram-se valores de deformação vertical, $\varepsilon_V = 0,207$ e deformação horizontal, $\varepsilon_L = 0,003$.

→ Ensaio duplo nº 2

Na Figura 38 apresentam-se os valores obtidos para o cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo 2.

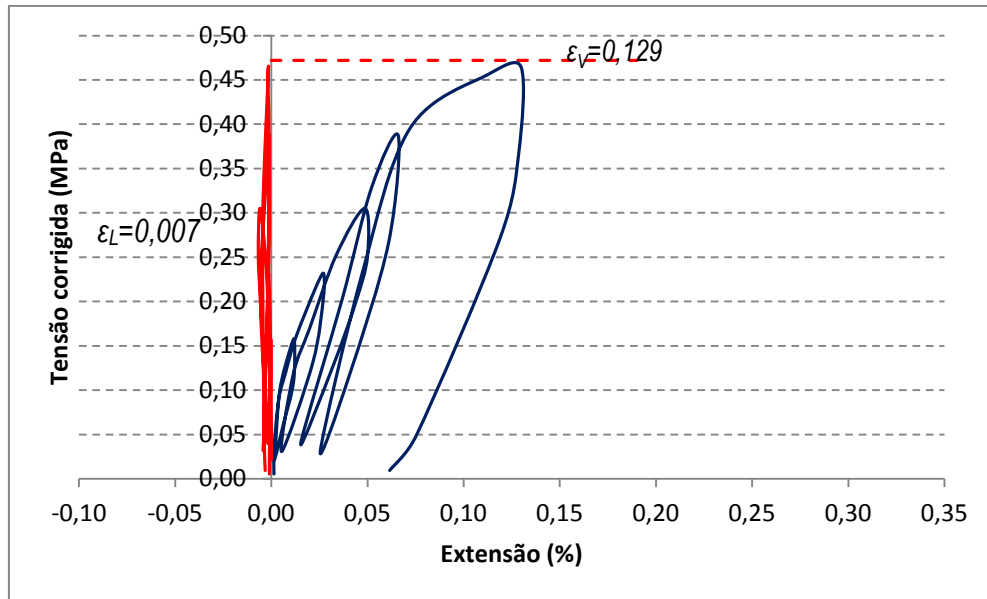


Figura 38: Cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 2

Pela análise do gráfico tensão-extensão obtiveram-se para a deformação vertical um valor de, $\varepsilon_V = 0,129$ e para a deformação horizontal de, $\varepsilon_L = 0,007$.

→ Ensaio duplo nº 3

Por forma a se obter o valor do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 3 fez-se o cálculo das deformações vertical e horizontal conforme se apresenta na Figura 39.

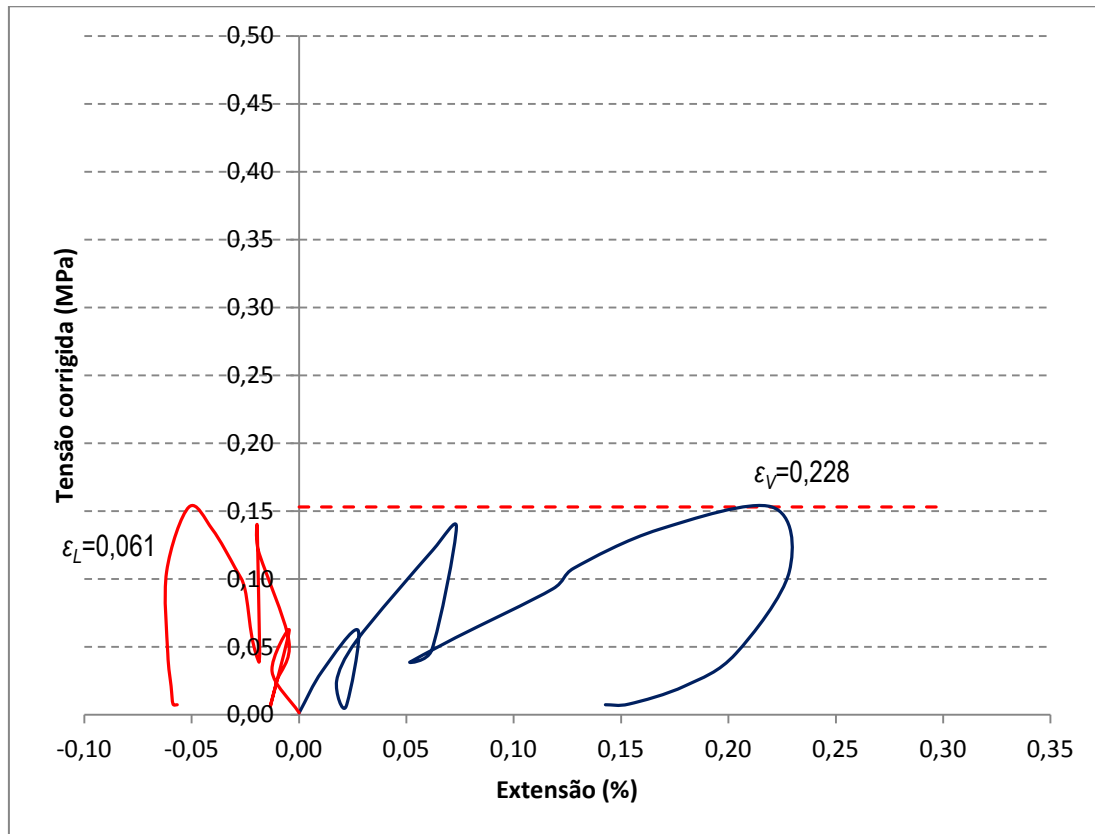


Figura 39: Cálculo do coeficiente de Poisson para o ensaio duplo nº 3

Obtiveram-se valores de deformação vertical, $\varepsilon_v=0,228$ e deformação horizontal, $\varepsilon_L=0,061$.

Por aplicação da equação 3 (ponto 3.13.2) pode assim obter-se o valor do coeficiente de Poisson (ν) estimado pelo ensaio.

De acordo com o referido no ponto 3.13.2 a determinação do módulo de elasticidade E é estimado a partir da curva tensão-extensão média obtida nos ensaios duplos. O módulo de elasticidade inicial (E_0), foi determinado de acordo com as normas RILEM [23] e [24] (ver Figura 40) para valores de tensão entre os 5 e os 30% da tensão máxima atingida para cada ensaio e os restantes módulos de elasticidade foram obtidos pelo procedimento esquematizado na Figura 41.

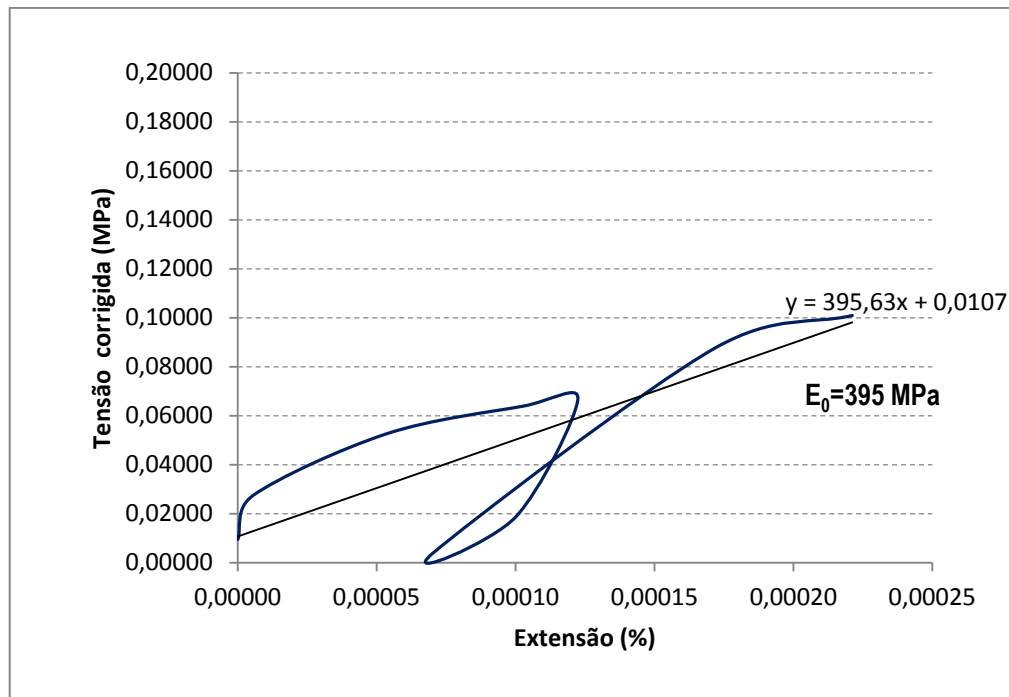


Figura 40: Exemplo de cálculo do módulo de elasticidade pelo RILEM

O esquema de cálculo geral dos módulos de elasticidade apresenta-se na figura seguinte.

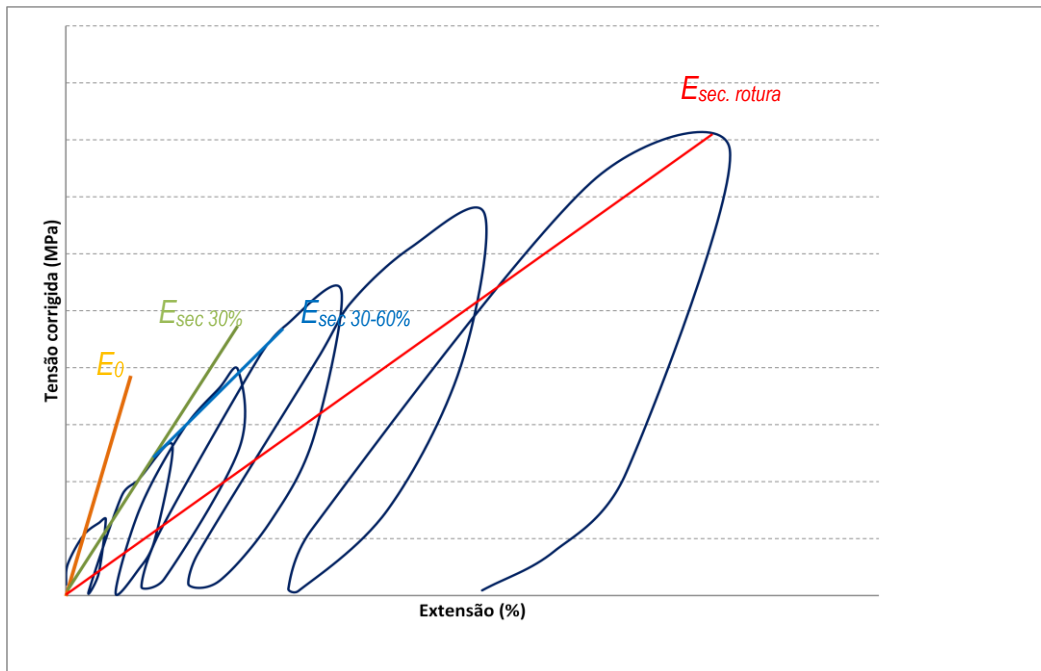


Figura 41: Esquema de cálculo do módulo de elasticidade

Na Tabela 10 apresentam-se os resultados obtidos pela realização dos ensaios duplos com macacos planos.

Tabela 10: Quadro resumo dos resultados obtidos para os ensaios duplos

Ensaio nº	Tipo de secção do macaco	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	E_0 (MPa)	$E_{sec\ 30\%}$ (MPa)	$E_{sec\ 30-60\%}$ (MPa)	$E_{sec.\ rotura}$ (MPa)	ν	
1	Rectangular	0,395	395	456	577	192	0,017	
2	Semi-oval	0,47	1266	1492	417	357	0,052	
3	Semi-circular	0,153(*)	202,97(*)	77,125(*)	79,821(*)	69,514(*)	0,269(*)	
		0,433	799	974	497	274	0,035	Valores médios (Edifício A)
4	Rectangular	0,58	1822	2733	1572	1147	--	
5	Semi-circular	0,433	1076	1604	532	380	0,109	
		0,507	1449	2168	1052	764	0,109	Valores médios (Edifício B)
6	Rectangular	0,665	228	782	251	605	--	
7	Semi-oval	0,715	2565	2292	3960	769	--	
8	Semi-circular	0,993	540	5658	965	982	--	
		0,791	1111	2911	1725	785	--	Valores médios (Edifício C)
		0,607	1120	2018	1091	608	0,072	Média global
(*) Ensaio realizado sobre condições de saturação das alvenarias pelo que os valores obtidos não considerados para as médias dos ensaios								

A obtenção dos valores do módulo de elasticidade tem elevada importância na elaboração e calibração de modelos numéricos e verificação da segurança estrutural das construções. No entanto, pelos resultados dos módulos de elasticidade obtidos nos ensaios realizados e pela dispersão que apresentam, não é possível obter um valor que caracterize as alvenarias de adobe ensaiadas nesta dissertação, pela variabilidade dos resultados.

O valor do coeficiente de Poisson (ν) constitui-se o parâmetro com maior dificuldade de obtenção. Os valores da extensão lateral, ε_L , necessários para o seu cálculo para muitos dos ensaios não tinham significado. Considerando a média global dos valores para os quais a leitura da extensão lateral foi possível registar com fiabilidade, obteve-se uma média para o coeficiente de Poisson do adobe, $\nu = 0,072$, valor muito reduzido.

Quanto aos valores da resistência das paredes de alvenaria, estimados pela tensão máxima obtida no ensaio, verifica-se no geral uma tendência para valores muito próximos, obtendo-se então, pela média dos valores dos ensaios efectuados, uma estimativa fiável para este parâmetro. É ainda evidente alguma diferença entre as médias de resistência para cada edifício estudado, explicada pela diversidade de constituição que os blocos de adobe apresentam de zona para zona.

De forma a verificar a segurança estrutural dos edifícios estudados pode-se efectuar a comparação entre os valores obtidos no ensaio simples para a estimativa da tensão instalada e os valores do ensaio duplo para a tensão máxima atingida (ver Tabela 11).

Tabela 11: Comparação dos resultados de tensões obtidas

Ensaio nº	Tipo de secção do macaco	σ_m (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}x}/\sigma_m$	
1	Rectangular	--	0,395	--	
2	Semi-oval	--	0,47	--	
3	Semi-circular	--	0,153	--	
		--	--	--	Valores médios (Edifício A)
4	Rectangular	0,160	0,58	3,625	
5	Semi-circular	0,128	0,433	3,383	
		0,144	0,507	3,517	Valores médios (Edifício B)
6	Rectangular	0,110	0,665	6,045	
7	Semi-oval	0,120	0,715	5,958	
8	Semi-circular	0,120	0,993	8,275	
		0,120	0,791	6,592	Valores médios (Edifício C)

Quando comparados entre si os resultados obtidos para estimativa da tensão instalada e os valores da tensão máxima atingida, pode-se concluir que o valor determinado da tensão máxima atingida é consideravelmente superior à estimativa da tensão instalada nas paredes, associando-se um coeficiente de segurança às acções verticais elevado. Pode-se pois considerar que as paredes de alvenaria se encontram em bom estado.

Devido à inexistência de registo de valores para o ensaio simples no edifício A torna-se impossível efectuar a avaliação de segurança do mesmo. Quanto ao edifício B e C, pode-se afirmar que a segurança de ambos se verifica, dado que os valores da tensão máxima são bastante superiores ao estado de tensão actual.

5.6. Influência da secção dos macacos planos nos resultados obtidos

Sendo um dos objectivos da presente dissertação a avaliação da influência da secção dos macacos planos nos resultados obtidos efectuou-se o cálculo da variação média do conjunto de ensaios realizados com cada formato e verificou-se qual a variação média em relação aos valores esperados. Os resultados encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 12: Variação dos resultados obtidos nos ensaios simples em relação ao valor estimado por cálculo

Secção do macaco	Ensaio	Variação (%)	Variação média (%)
Rectangular	1	--	24
	4	29	
	7	19	
Semi-oval	2	--	36
	5	61	
	8	11	
Semi-circular	3	--	7
	6	3	
	9	11	

Na análise dos valores da tabela anterior verifica-se que os valores obtidos com macacos de secção semi-circular traduzem de forma mais fiável o estado de tensão das paredes de alvenaria (variação de apenas 7%). O facto de estes macacos serem inseridos a uma maior profundidade, pela sua maior dimensão, torna-os menos influenciados a zonas de corte menos eficazes, isto é, zonas de corte de dimensão ligeiramente superior à secção do macaco. Este facto, deixa de ser verificado para tensões superiores às necessárias para realização do ensaio simples. Os macacos semi-circulares por terem uma área superior às restantes geometrias de macacos planos, quando sujeito a tensões elevadas tendem a deformar mais na sua zona central, uma vez que ao ser introduzindo dano nas extremidades da secção de parede ensaiada regista-se uma redução da deformação horizontal. Ao ocorrer uma redução da deformação horizontal, devido ao relaxamento da zona danificada (nas extremidades da zona de corte) vai originar uma concentração de pressão na zona mais central do macaco plano (ver Figura 42).

É também relevante o menor efeito de confinamento exercido sobre os macacos de secção semi-circular obrigando a um corte mais extenso.

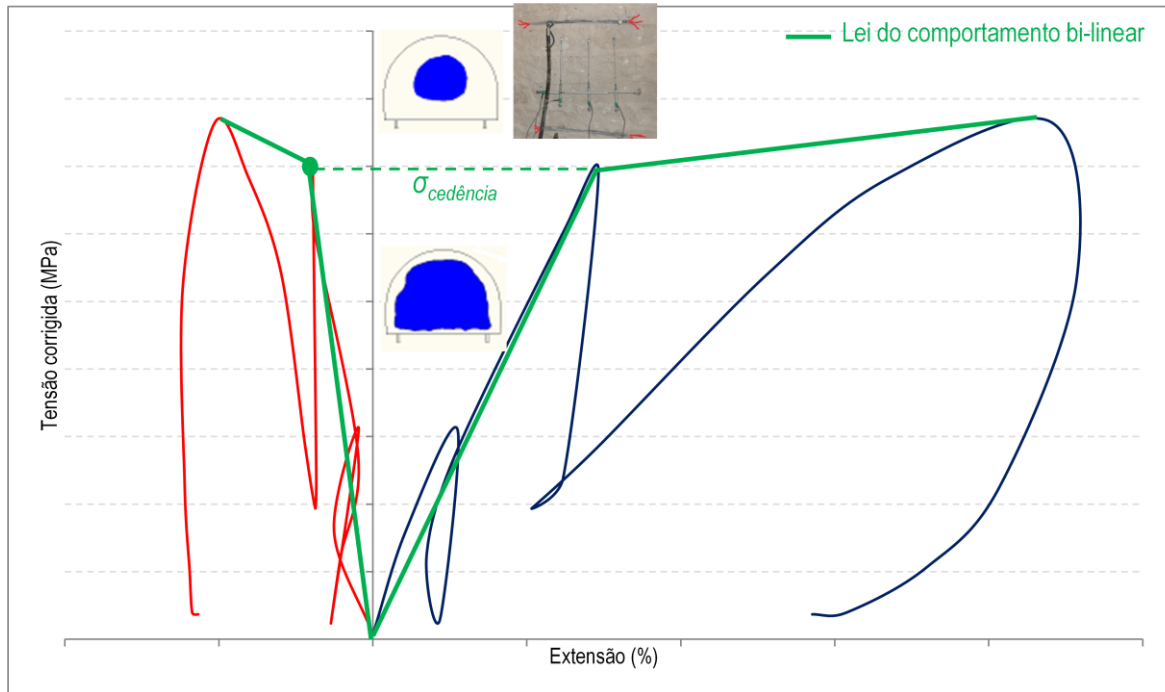


Figura 42: Distribuição de pressões no interior do macaco plano durante a realização do ensaio duplo

Quanto à utilização de macacos de secção rectangular estes introduzem dificuldades na execução dos rasgos para inserção dos macacos. Sendo utilizado o berbequim para efectuar furações adjacentes muito próximas torna-se difícil remover toda a junta de forma eficaz.

Acerca da influência da secção dos macacos planos nos resultados obtidos, ponto importante neste trabalho, não podem ser retiradas conclusões definitivas. Apenas com auxílio de novos estudos, usando uma malha com por exemplo uma tela ou sistema de sensores em grelha piezométrica que indique a evolução da área efectiva de carregamento com o evoluir da tensão de ensaio, ou a utilização de dois ensaios duplos em paralelo nas duas faces da parede para uma zona de corte ao mesmo nível se torna possível perceber e interpretar. Acresce ainda o facto de se tornar necessário um maior número de ensaios com as diferentes geometrias de macacos planos para uma zona de carregamento similar, pois o número de ensaios não se traduz com significado estatístico.

5.7. Influência da presença de humidade nos ensaios realizados

O adobe é um material poroso e naturalmente é susceptível à retenção de água (higroscopicidade) e humidade ascensional.

Nos ensaios levados a cabo no edifício A, sito na Rua Aires Barbosa realizaram-se três ensaios com macacos planos duplos, sendo dois realizados para condições de teor em humidade natural e um ensaio em condições de saturação. Os valores de tensão máxima obtidos para os dois ensaios duplos em condições de teor humidade natural ($\sigma_{m\acute{a}x}=0,470$ MPa e $\sigma_{m\acute{a}x}=0,395$ MPa) apresentam valores bastante superiores ao valor de tensão obtido as alvenarias de adobe saturadas de $\sigma_{m\acute{a}x}=0,153$ MPa.

Temos assim uma redução de resistência mecânica das paredes de alvenaria de blocos de adobe em condições de saturação de 64,7% em relação à média dos ensaios realizados em condições de teor em humidade natural. Este valor está em conformidade com os valores obtidos por [25] que apresenta valores da redução de resistência de provetes de adobes no estado saturado em relação ao estado seco, de cerca de 50%.

5.8. Alteração do protocolo de ensaios com macacos planos simples

A impossibilidade de leituras nos ensaios nº 1,2 e 3 associados a erros de leitura do alongâmetro, impediu a estimativa do estado de tensão no edifício A, o que levou à utilização em paralelo de potenciómetros e do alongâmetro nos ensaios simples efectuados no edifício B (ensaios nº 4, 5 e 6). Nestes ensaios voltaram a ocorrer problemas com as leituras usando o alongâmetro, sendo apenas possível efectuar leituras com o potenciómetro, factor que levou à utilização única dos potenciómetros nos ensaios no edifício C (ensaios nº 7,8 e 9). Esta opção baseou-se nos problemas decorrentes das leituras associadas ao alongâmetro, assim como, serem muito dependentes do ângulo de medição e da sensibilidade de quem os mede.

O uso do alongâmetro obriga à colagem de miras de controlo de pequena dimensão com o auxílio de resinas epoxi. Sendo os adobes um material de elevada porosidade, a colagem das miras é

dificultada pela falta de aderência das resinas às alvenarias de adobe sendo também difícil a garantia da verticalidade das miras pela sua pequena dimensão. Durante a realização das medições, tornou-se também evidente os erros de leitura associados ao alongâmetro, obtendo-se distâncias superiores às distâncias iniciais (antes da abertura do rasgo).

De tal forma tornou-se necessário recorrer a um sistema de medição que garantisse bons resultados, com erros inferiores ao alongâmetro e com maior facilidade de instalação. O uso dos potenciômetros, os mesmos usados nos ensaios duplos, surgiu como uma solução viável mas um conjunto de pormenores teve que ser estudada e controlada, entre os quais, como garantir a recolocação dos potenciômetros na mesma posição que a posição para proceder ao corte no ensaio simples.

A alteração ao procedimento experimental encerra uma série de procedimentos que a seguir se descreve e se ilustra na Figura 43:

- Marcação das zonas realizar as medições de distâncias;
- Furação com recurso ao um berbequim da zona de realização de medições;
- Injecção de uma argamassa de secagem rápida nas zonas de furo;
- Inserção de um varão roscado no furo contendo a argamassa de secagem rápida;
- Após a secagem da argamassa, colocar no varão roscado duas porcas apertadas uma contra a outra para que não seja possível o movimento das mesmas;
- Garantir a verticalidade dos alinhamentos e o nivelamento dos mesmos;
- Colação dos potenciômetros e de nova porca aperto;
- Medição das distâncias iniciais;
- Remoção dos potenciômetros;
- Realização do rasgo;
- Colocação do macaco plano, sistema de leitura da área efectiva de carregamento e ligação ao sistema de pressurização;
- Recolocação dos potenciômetros na posição inicial;
- Pressurização do macaco e realização de medição de distâncias até ao restabelecimento da distância inicial.

Na Figura 43 está ilustrado o novo procedimento experimental para o ensaio simples.


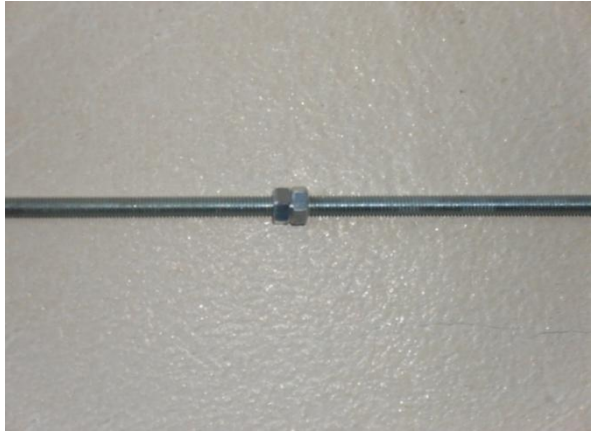



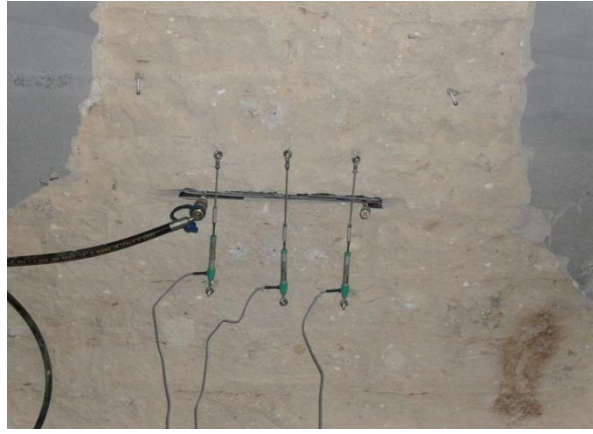
	
<p>i) Furação, injeção de argamassa de secagem rápida e colocação de varão roscado</p>	<p>ii) Colocação de duas porcas apertadas uma contra a outra de forma a impedir o movimento do potenciômetro</p>
	
<p>iii) Colocação do potenciômetro e nova porca</p>	<p>iv) Medição das distâncias iniciais (antes de abertura do rasgo)</p>
	
<p>v) Remoção dos potenciômetros e abertura do rasgo</p>	<p>vi) Recolocação dos potenciômetros na posição inicial e realização do ensaio simples</p>

Figura 43: Novo procedimento experimental para o ensaio simples

Com a utilização do novo procedimento de ensaio simples, foi possível efectuar o ensaio de uma forma mais simples, sendo sempre possível obter uma estimativa da tensão instalada. Os

resultados obtidos são fiáveis obtendo-se uma variação em relação aos valores de tensão estimados por cálculo dos limites estipulados pelas normas ASTM de $\pm 24\%$ [18, 19].

Não obstante este sistema também introduz erros, tais como o erro associado ao próprio potenciômetro e o erro por falta de rectificação do olhão do potenciômetro ao varão roscado. No entanto, e apesar destes erros, o sistema apresenta melhores resultados que o alongâmetro, introduzindo erros menores no ensaio simples.

Capítulo 6

Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro

6. Conclusões, comentários finais e perspectivas futuras de trabalho

6.1. Síntese do trabalho realizado

6.1.1. Breve descrição do trabalho realizado

As intervenções de conservação e reabilitação dos edifícios devem ser suportados por uma investigação que permita conhecer não só as características mecânicas dos materiais, assim como, os pormenores construtivos.

Este trabalho foi dedicado à realização de “ensaios de caracterização de alvenarias de adobe”, devido ao crescente interesse no conhecimento das potencialidades da construção em alvenaria de adobe, material muito usual na região de Aveiro.

Numa primeira fase desenvolveram-se os assuntos que estão na origem deste trabalho, a construção em terra, dando uma maior ênfase à construção em adobe (capítulo 2) e os ensaios com macacos planos (capítulo 3). Numa segunda fase é feita uma descrição dos edifícios nos quais se realizaram ensaios com macacos planos (capítulo 4) e é feita a análise dos resultados obtidos com recurso a macacos planos (capítulo 5).

6.1.2. Avaliação dos resultados

Definiram-se como objectivos principais deste trabalho: a) Realizar um conjunto de ensaios com macacos planos, simples e duplos, em edifícios na região de Aveiro, construídas em alvenaria de adobe e que mantenham boas condições estruturais, de modo a determinar as características de comportamento mecânico deste tipo de construções; b) Comparar o estado de tensão instalado nas paredes, ao nível da zona de ensaio, através da realização de ensaios com macacos planos simples e do cálculo das tensões estimadas; c) Realizar um conjunto de ensaios com macacos planos simples recorrendo-se paralelamente a dois sistemas de medição e controlo de distâncias, o

vulgarmente usado alongâmetro e com potenciômetro; d) Realizar séries de ensaios em paredes de alvenaria de adobe com dimensões que permitam a realização de três ensaios, em zonas com a mesma tensão estimada através de cálculo, com macacos planos com os diversos formatos (rectangular, semi-circular e semi-oval).

Os resultados obtidos permitiram tirar conclusões, assentes nestes mesmos objectivos, que se consideram ter contribuído para a valorização do trabalho já realizado no domínio dos “Ensaio de caracterização de alvenarias de adobe”. Esta convicção fundamenta-se nas conclusões apresentadas no ponto 6.1.3 divididas por:

- Construção em terra;
- Resultados obtidos na realização de ensaios com macacos planos;
- Alteração do protocolo do ensaio simples.

6.1.3. Conclusões e comentários finais

6.1.3.1. Construção em terra

Constata-se pela análise dos ensaios realizados a não uniformidade de características geométricas e de composição dos blocos de adobe. Sendo adobes de uma mesma região, as suas características variam, devido ao seu modo de produção artesanal e não mecanizada. Não obstante, os valores das propriedades obtidos na realização de ensaios como macacos planos não expressam variações significativas.

6.1.3.2. Resultados obtidos na realização de ensaios com macacos planos

No estudo efectuado da comparação da influência da secção dos resultados obtidos verifica-se que os ensaios de formato semi-circular apresentam uma menor variação em relação ao valor esperado (7%) admitindo-se assim a sua maior fiabilidade de valores. O facto de estes serem inseridos a uma maior profundidade de corte permite obter leituras de tensões na zona central das paredes de alvenaria e não sofrem tanta influência com a possibilidade de zonas de corte largas, visto estas

normalmente surgirem nas faces exteriores da parede. Contudo dever-se-ia efectuar uma maior gama de ensaios para assim se poder fazer um estudo mais aprofundado.

No estudo realizado nos diversos edifícios, conclui-se a existência de segurança estrutural nos edifícios B e C, já que os valores para a tensão máxima são bastante superiores aos valores da tensão instalada nas mesmas. No que concerne ao edifício A, nada se pode concluir acerca da sua segurança estrutural, devido à inexistência de resultados do ensaio simples (estado de tensão instalada).

Durante o cálculo do parâmetro de correcção das tensões k_a , denotou-se alguma dificuldade de obtenção da área efectiva de carregamento. O seu processo de obtenção torna este parâmetro variável segundo a óptica de cada utilizador, já que a leitura do contorno de carregamento pode ser entendida como diferente por cada operador.

Em termos de resistência dos blocos de adobe à compressão, avaliado pela tensão máxima, ocorre uma variação de $\sigma_{m\acute{a}x}$ [0,395-0,993] MPa, por exclusão do ensaio duplo 3 realizado em zona de grande humidade. No que concerne ao módulo de elasticidade esta variação é um pouco mais significativa E_0 [202-2674] MPa.

A realização de ensaios com macacos planos permite obter informação fidedigna relativamente às propriedades mecânicas das paredes de alvenaria de adobe. Associada a uma correcta interpretação dos resultados obtidos no ensaio, os valores obtidos permitem uma boa base de informação acerca da segurança estrutural dos edifícios e das propriedades mecânicas dos materiais constituintes. No entanto a obtenção do módulo de elasticidade deverá ser complementada com outros ensaios não destrutivos, como por exemplo ensaios sónicos, visto os resultados obtidos para os ensaios com macacos planos apresentarem uma grande dispersão de valores de módulos de elasticidade.

De salientar ainda os efeitos da humidade nos blocos de adobe. Na realização de ensaios duplos no edifício A (ensaio duplos nº 1,2 e 3) a variação da resistência máxima à compressão entre zona relativamente seca e húmida, são de $\sigma_{m\acute{a}x}$ =0,433 MPa para $\sigma_{m\acute{a}x}$ =0,153MPa, respectivamente, causando uma perda de resistência de cerca de 64%. Este valor encontra-se dentro dos valores

apresentados por [25] que prevê uma redução da resistência dos blocos de adobe quando saturados em água de cerca de 50%.

6.1.3.3. Alteração do protocolo do ensaio simples

Na realização dos ensaios simples com macacos planos, e sabendo-se a priori, dos erros ocorridos em trabalhos anteriores e também neste trabalho do uso do alongâmetro nas medições das leituras das distâncias, recorreu-se ao uso de potenciômetros, os mesmos usados nos ensaios duplos. A utilização dos potenciômetros permitiu não só efectuar todos os ensaios simples em que foram usados, assim como apresentam valores fidedignos e um erro inferior ao obtido para o uso do alongâmetro.

6.2. Perspectivas futuras de trabalho

O trabalho realizado nesta dissertação permitiu alargar o conhecimento sobre a construção em terra na região de Aveiro melhorar assim como melhorar o protocolo de ensaios com recurso a macacos planos. No entanto permitiu também identificar alguns pontos em que existem algumas lacunas que futuramente se devem estudar, tais como:

- Realização de novos ensaios comparando a influência da secção dos macacos planos nos resultados obtidos, com o objectivo de aprofundar o trabalho desenvolvido nesta dissertação;
- Realização de novas campanhas de ensaio que permitam aumentar o número de ensaios sobre a construção em adobe na região de Aveiro;
- Aprofundamento do estudo do coeficiente k_a , criando novos métodos para uma obtenção mais rigorosa da área efectiva de carregamento;
- Realização de ensaios com macacos planos em paralelo com outros ensaios não destrutivos e destrutivos para uma mais fácil caracterização mecânica;
- Realização de ensaios com macacos planos para caracterização da resistência ao corte.
- Realização de ensaios com macacos planos sobre outros tipos de arquitectura em terra de forma a criar uma base de dados mais abrangente (taipa, tabique, BTC);

- Desenvolvimento de macacos planos constituídos por materiais com menor rigidez de forma a aumentar a área efectiva de contacto entre o macaco e a parede ensaiada, aproximando o valor de k_a a 1, não sendo necessário recorrer a papel químico;
- Desenvolvimento de um sistema rectificado, na fixação dos potenciómetros às hastes embebidas nas paredes de alvenaria, que permita a redução dos erros associados à alteração do protocolo experimental do ensaio simples desenvolvido nesta dissertação.

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

- [1] Varum, H. Costa, A. Pereira, H. Almeida, J. Rodrigues, H. “Avaliação Experimental do Comportamento Estrutural de Elementos Resistentes em Alvenaria de Adobe”, Departamento de Eng. Civil, Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.
- [2] Arêde, A. Costa, A. Varum, H. Vicente, R. Costa, A. Pereira, H. Rodrigues, H. – “Avaliação experimental do comportamento fora do plano de paredes de alvenaria de adobe” - V Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 10-13 de Outubro de 2007.
- [3] Dethier, J. “As Tradições das Arquitecturas de Terra” Seminário Arquitecturas de Terra, Museu Monográfico de Conímbriga, Ed. CCRCentro, Coimbra, 1992.
- [4] (<http://ambiente.hsw.uol.com.br>) (consultado dia 25/09/2011)
- [5] Carvalho, J. – Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2009.
- [6] Correia, M. Universalidade e Diversidade da Arquitectura de Terra; 10ª Mesa Redonda de Primavera com o tema “Terra - Forma de Construir” – Escola Superior Gallaecia, Vila Nova de Cerveira
- [7] (http://www.terracruz.com/lang/pt_PT/construcao/) (consultado dia 20/04/2011)
- [8] Corrêa, A; Teixeira, V ; Lopes, S. Oliveira, M.: “Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua)”, 2005 (disponível em <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v30n3/v30n3a17.pdf>) (consultado dia 18/04/2011)

- [9] Neto, C., Estratégias para caracterização do edificado em adobe em Aveiro, Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008.
- [10] Rufo, R., Ensaio de caracterização mecânica de alvenarias de adobe: Flat-jack testing, Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.
- [11] Oliveira, Leila Bueno de – Introdução ao estudo de adobe: construção de alvenaria, 2005; (disponível em: http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/edicao2005/adobe.pdf consultado dia 20/05/2011).
- [12] Veiga Oliveira, E. Galhano, F. Arquitectura Tradicional Portuguesa, Portugal de Perto Publicações D. Quixote, Portugal, 1992.
- [13] Varum, H. Martins, T. Velosa, A. "Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro". IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada. Monsaraz, 8 a 10 de Outubro de 2005.
- [14] Abdunur, C., Stress and deformability in concrete masonry, IABSE Symposium on Strengthening Of Building Structures-Diagnostic and Therapy, Venice, Italy, 1983.
- [15] Rossi, P. Flat Jack test for the analysis of mechanical behaviour of brick masonry structures, 7th International Brick Masonry Conference, Melbourne, 1985.
- [16] W. Qinglin e W. Xiuyi, The evaluation of compressive strength of brick masonry in-situ; 8th Int. Brick/Block Mas. Conf., Dublin, Ireland, 1988.
- [17] Lourenço, P. Gregorczyk, P., Review on Flat-Jack Testing; Revista do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, No. 9, Guimarães, 2000.
- [18] ASTM (1991a). In-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements, ASTM Standard C 1196-91, 1991.
- [19] ASTM (1991b). In-situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method, ASTM Standard C 1197-91, 1991.

- [20] Noland, J.L.; Atkinson, R.H.; Schuller, M.P. A review of the flat-jack method for nondestructive evaluation; Proceedings Nondestructive evaluation of civil structures and materials, Boulder, USA, 1990.
- [21] <http://maps.google.com/> (consultado dia 10/11/2011)
- [22] Reis, A.; Farinha, M.; Farinha, J., Tabelas técnicas, Edições técnicas E.T.L., Lisboa, 2007.
- [23] RILEM, LUM.D.2 (1990a). In-situ stress tests on masonry based on the flat jack, 1990.
- [24] RILEM LUM.D.3 (1990 b), In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat jack, 1990
- [25] Martins, H. T. Caracterização Mecânica e Patológica das Alvenarias de Adobe; Tese de dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2009.
- [26] Vicente, R., Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana - Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 2008.

Anexo A

Cálculo do parâmetro km

Anexo A – Cálculo do Parâmetro km

O parâmetro km traduz a conversão entre a pressão interna do sistema de pressurização (bomba hidráulica), lida no manómetro à saída e a pressão que está a ser aplicada na alvenaria pelos macacos, no momento do ensaio. A sua determinação foi efectuada com o auxílio de uma Prensa digital para ensaios CBR, Marshall e Triaxial, ELE tipo Multiplex 50-E (Figura 44). Para a calibração usou-se o anel de carga de 50kN.



Figura 44: Prensa digital usada para calibração dos macacos planos

No ponto 5.3 apresentaram-se os valores finais do parâmetro km para os macacos planos utilizados assim como um exemplo dos dados obtidos para a calibração do macaco plano MR1. De seguida apresentam-se os valores obtidos para os restantes macacos planos.

Tabela 13: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MR2

Macaco plano	MR2
Área do macaco plano (m ²)	0,036
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→ 5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,269	0,289	1,075
10	0,502	0,428	0,853
15	0,725	0,567	0,782
20	0,939	0,706	0,752
25	1,149	0,845	0,735
30	1,357	0,984	0,725
km médio =			0,820

Tabela 14: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MR3

Macaco plano	MR3
Área do macaco plano (m ²)	0,036
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→

5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,293	0,289	0,987
10	0,550	0,428	0,778
15	0,780	0,567	0,727
20	0,996	0,706	0,709
25	1,201	0,845	0,703
30	1,403	0,984	0,701
km médio =			0,768

Tabela 15: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MR4

Macaco plano	MR4
Área do macaco plano (m ²)	0,036
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→

5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,317	0,289	0,912
10	0,571	0,428	0,75
15	0,806	0,567	0,704
20	1,027	0,706	0,687
25	1,242	0,845	0,68
30	1,444	0,984	0,681
km médio =			0,736

Tabela 16: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MR5

Macaco plano	MR5
Área do macaco plano (m ²)	0,036
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→

5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,278	0,289	1,04
10	0,502	0,428	0,853
15	0,721	0,567	0,786
20	0,933	0,706	0,757
25	1,146	0,845	0,737
30	1,350	0,984	0,729
		km médio =	0,817

Tabela 17: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MSO2

Macaco plano	MSO2
Área do macaco plano (m ²)	0,028
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→

5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,293	0,372	1,269
10	0,583	0,550	0,944
15	0,876	0,729	0,832
20	1,162	0,908	0,781
25	1,438	1,086	0,755
30	1,711	1,265	0,739
		km médio =	0,887

Tabela 18: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MSO4

Macaco plano	MSO4
Área do macaco plano (m ²)	0,028
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→ 5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,347	0,289	0,834
10	0,670	0,428	0,639
15	0,980	0,567	0,579
20	1,200	0,706	0,588
25	1,509	0,845	0,56
30	1,770	0,984	0,556
km médio =			0,626

Tabela 19: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MSC1

Macaco plano	MSC1
Área do macaco plano (m ²)	0,078
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→

5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,420	0,372	0,885
10	0,640	0,550	0,86
15	0,970	0,729	0,752
20	1,115	0,908	0,814
25	1,460	1,086	0,744
30	1,690	1,265	0,748
km médio =			0,801

Tabela 20: Cálculo do parâmetro km para o macaco plano MSC3

Macaco plano	MSC3
Área do macaco plano (m ²)	0,078
Peso das placas de aço (kg)	552,3746

→ 5,413271 kN

Pressão no sistema pressurizador (kN)	Valor lido na prensa (MPa)	Tensão (MPa)	km
5	0,410	0,372	0,907
10	0,670	0,550	0,822
15	0,890	0,729	0,819
20	1,090	0,908	0,833
25	1,356	1,086	0,801
30	1,789	1,265	0,707
km médio =			0,815

Anexo B

Cálculo do parâmetro k_a

Anexo B – Cálculo do parâmetro ka

A determinação do parâmetro ka foi efectuada por utilização de folhas de papel químico com a forma do contorno dos macacos planos que imprimem sobre uma folha de papel branco de igual geometria a área real de carregamento durante a realização de ensaios com macacos planos. Após determinada esta área, denominada a área real de carregamento, é feita a razão pela área total da secção de cada macaco plano obtendo-se assim os valores de ka . Durante os ensaios, efectuou-se para os macacos semi-circular apenas um cálculo de área efectiva de carregamento por macaco, enquanto para os macacos rectangular e semi-oval se efectuou tanto para a parte superior como para a parte inferior de contacto do macaco com a zona de corte.

B.1 – Ensaios simples

Como referido em 5.3 o cálculo de ka necessita de uma correcção de 34%, dando origem a ka 's corrigidos pelo facto de se ter prosseguido para a execução de ensaios duplos, sem avaliação da área total de carregamento, sendo a gama de tensões no ensaio duplo relativamente superior.

B.1.1 – Edifício A



Figura 45: Áreas efectivas de carregamento para ensaio simples no edifício A

Tabela 21: Valores de ka 's corrigidos médios para ensaios simples no edifício A

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka corrigido	ka corrigido médio
2	MSO2	Semi-oval	0,028	0,013	0,499	0,329	0,326
			0,028	0,013	0,490	0,324	
1	MR4	Rectangular	0,036	0,012	0,345	0,227	0,248
			0,036	0,015	0,407	0,268	
3	MSC1	Semi-circular	0,078	0,044	0,575	0,379	0,379

B.1.2 - Edifício B

Figura 46: Áreas efectivas de carregamento para ensaio simples no edifício B

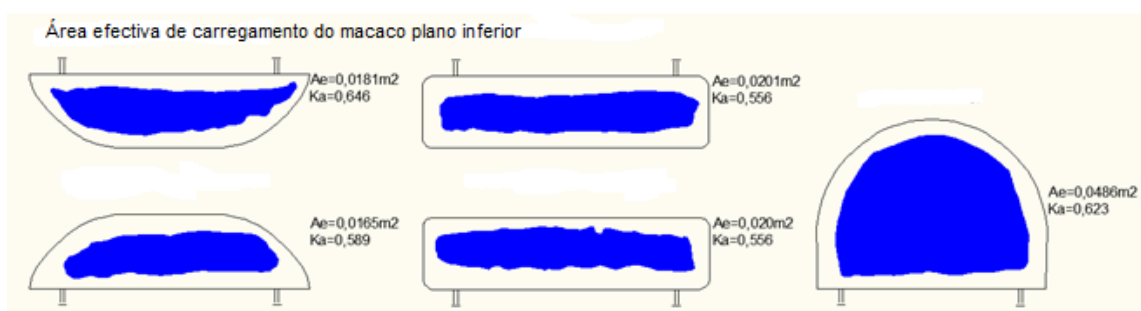


Tabela 22: Valores de ka 's corrigidos médios para ensaios simples no edifício B

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo dersecção do macaco	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka corrigido	ka corrigido médio
5	MSO2	Semi-oval	0,028	0,011	0,403	0,266	0,309
			0,028	0,015	0,533	0,352	
4	MR4	Rectangular	0,036	0,019	0,534	0,352	0,340
			0,036	0,018	0,496	0,327	
6	MSC3	Semi-circular	0,078	0,050	0,636	0,420	0,420

B.1.3 - Edifício C

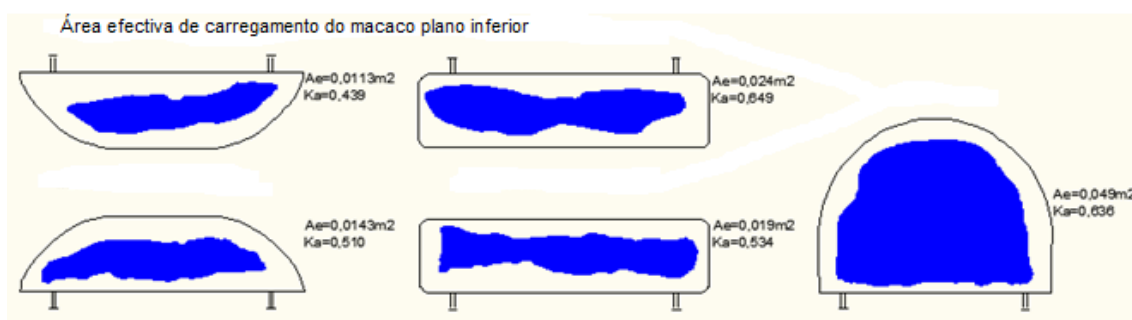


Figura 47: Áreas efectivas de carregamento para ensaio simples no edifício C

Tabela 23: Valores de ka 's corrigidos médios para ensaios simples no edifício C

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka corrigido	ka corrigido médio
8	MSO4	Semi-oval	0,028	0,018	0,649	0,428	0,409
			0,028	0,017	0,589	0,389	
7	MR4	Rectangular	0,036	0,020	0,559	0,369	0,369
			0,036	0,020	0,559	0,369	
9	MSC1	Semi-circular	0,078	0,049	0,624	0,412	0,412

B.2 – Ensaio duplos

Para os ensaios duplos não é necessário efectuar correcções na determinação de ka pelo facto de após o término do ensaio se calcular a área efectiva de corte. Na realização dos contornos das áreas efectivas de carregamento teve-se em consideração a eliminação de zonas resultantes da retirada do conjunto macaco plano, papel químico, papel branco e chapas, já que o macaco se encontra mais dilatado e é normal que sejam impressas zonas nos limites do contorno pela retirada do conjunto.

B.2.1 – Edifício A

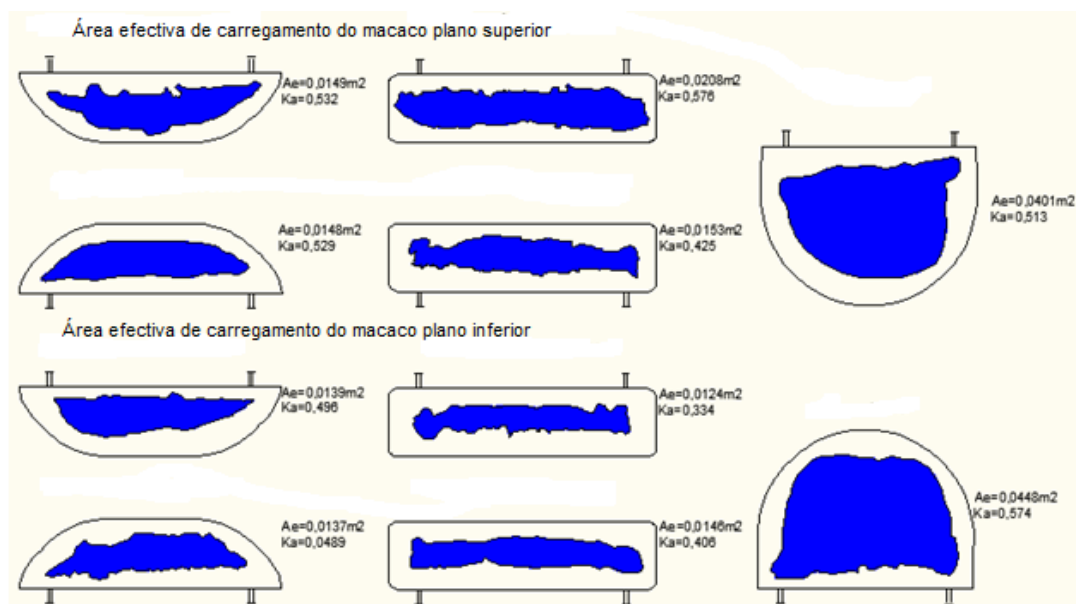


Figura 48: Áreas efectivas de carregamento para ensaio duplo no edifício A

Tabela 24: Valores de ka 's médios para ensaios duplos no edifício A

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka médio
2	MSO4	Semi-oval	0,028	0,015	0,533	0,513
			0,028	0,015	0,531	
	MSO2	Semi-oval	0,028	0,014	0,499	
			0,028	0,014	0,490	
1	MR5	Rectangular	0,036	0,021	0,579	0,439
			0,036	0,015	0,427	
	MR4	Rectangular	0,036	0,012	0,345	
			0,036	0,015	0,407	
3	MSC3	Semi-circular	0,078	0,0401	0,514	0,544
	MSC1	Semi-circular	0,078	0,044833	0,575	

B.2.2 – Edifício B

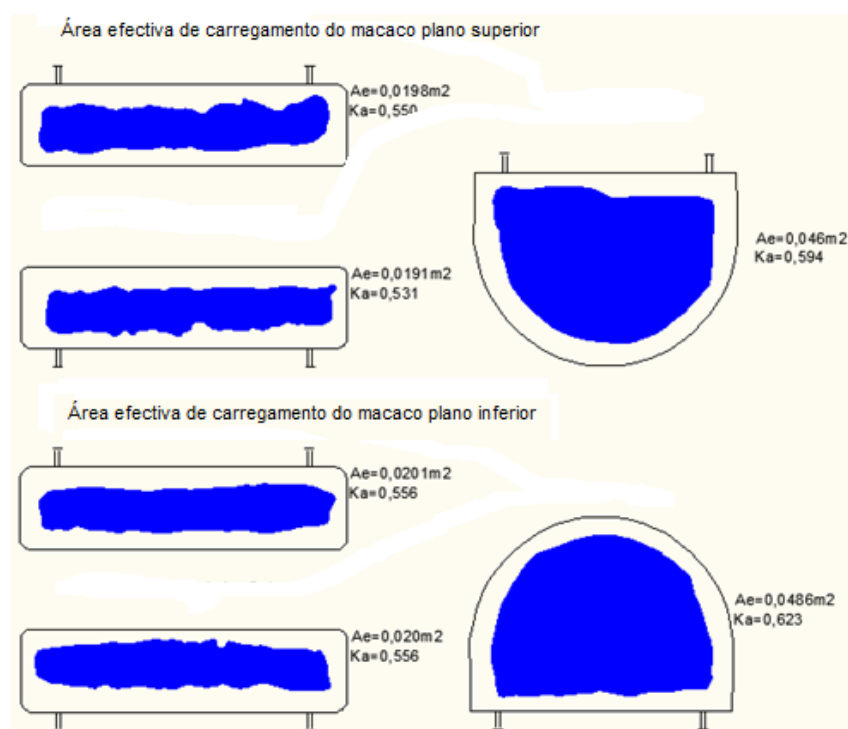


Figura 49: Áreas efectivas de carregamento para ensaio duplo no edifício B

Tabela 25: Valores de ka 's médios para ensaios duplos no edifício B

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka médio
4	MR5	Rectangular	0,036	0,020	0,552	0,550
			0,036	0,019	0,530	
	MR4	Rectangular	0,036	0,020	0,559	
			0,036	0,020	0,559	
5	MSC3	Semi-circular	0,078	0,046	0,594	0,609
	MSC1	Semi-circular	0,078	0,049	0,624	

B.2.3 – Edifício C

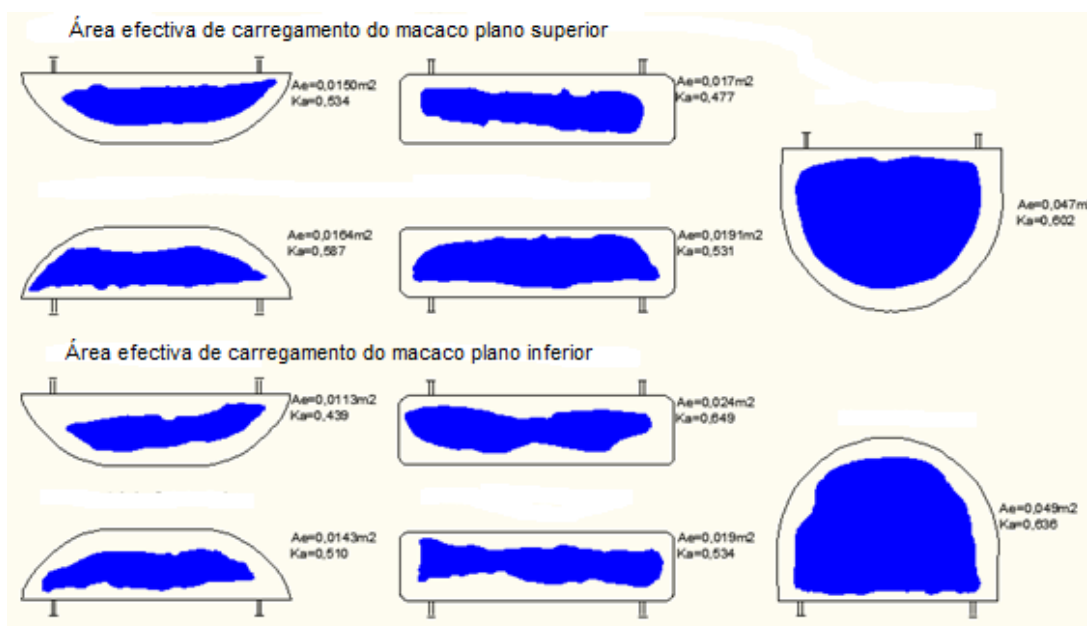


Figura 50: Áreas efectivas de carregamento para ensaio duplo no edifício

Tabela 26: Valores de ka 's médios para ensaios duplos no edifício C

Ensaio nº	Referência do macaco	Tipo de secção do macaco	Área do macaco (m ²)	Área efectiva de carregamento (m ²)	ka	ka médio
6	MSO4	Semi-oval	0,028	0,015	0,534	0,514
			0,028	0,016	0,587	
	MSO2	Semi-oval	0,028	0,011	0,403	
			0,028	0,015	0,533	
7	MR5	Rectangular	0,036	0,017	0,477	0,539
			0,036	0,023	0,649	
	MR4	Rectangular	0,036	0,019	0,534	
			0,036	0,018	0,496	
8	MSC1	Semi-circular	0,078	0,047	0,602	0,619
	MSC3	Semi-circular	0,078	0,050	0,636	

Anexo C

Ensaio simples com macacos planos

Anexo C – Ensaaios simples com macacos planos

Neste anexo são apresentados os resultados dos valores para os ensaios simples com macacos planos. No capítulo 5 foram apresentados os resultados para os ensaios nº 1 a 6, fazendo parte deste anexo os resultados dos ensaios nº 7,8 e 9. A apresentação dos resultados é feita da mesma forma que se faz no capítulo 5.



	Distâncias Iniciais (mm)
Alinhamento 1	21,93
Alinhamento 2	13,32
Alinhamento 3	44,54

Pressão no macaco (kPa)	Alinhamento 1	Alinhamento 2	Alinhamento 3	Tensão não corrigida (MPa)	Tensão corrigida (MPa)	Restabelecimento 1
Após corte	21,90	13,28	44,07	0,00	0,00	0,03
97	21,91	13,28	44,10	0,10	0,03	0,02
195	21,92	13,27	44,10	0,20	0,05	0,01
300	21,92	13,27	44,11	0,30	0,08	0,01
385	21,93	13,27	44,10	0,39	0,11	0,00
450	21,93	13,28	44,10	0,45	0,12	0,00

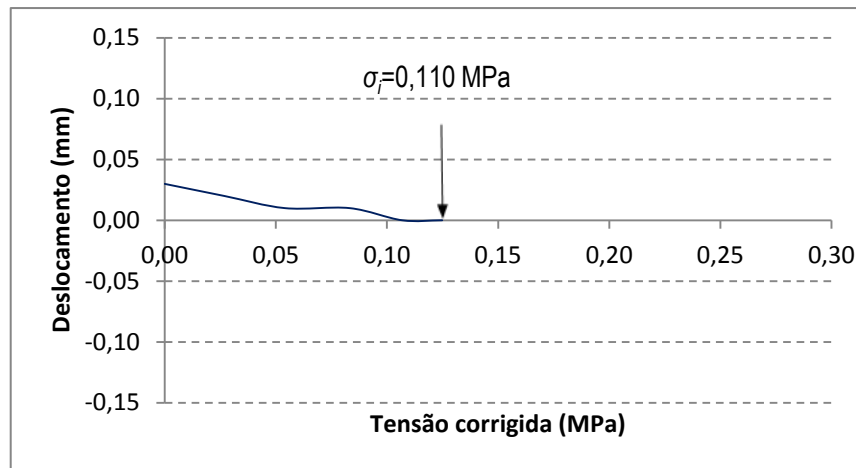


Figura 51: Estimativa de tensões instaladas para o ensaio simples nº 7



	Distâncias Iniciais (mm)
Alinhamento 1	22,14
Alinhamento 2	34,69
Alinhamento 3	6,85

Pressão no macaco (kPa)	Alinhamento 1	Alinhamento 2	Alinhamento 3	Tensão não corrigida (MPa)	Tensão corrigida (MPa)	Restabelecimento 1	Restabelecimento 3	Média (1-3)
Após corte	22,11	34,52	6,83	0,00	0,00	-22,11	-6,83	-14,47
110	22,12	34,52	6,85	0,11	0,00	-22,12	-6,85	-14,49
200	22,13	34,50	6,85	0,20	0,00	-22,13	-6,85	-14,49
300	22,13	34,51	6,85	0,30	0,00	-22,13	-6,85	-14,49
400	22,13	34,51	6,85	0,40	0,00	-22,13	-6,85	-14,49
500	22,13	34,51	6,85	0,50	0,00	-22,13	-6,85	-14,49
600	22,14	34,54	6,85	0,6	0	-22,14	-6,85	-14,495

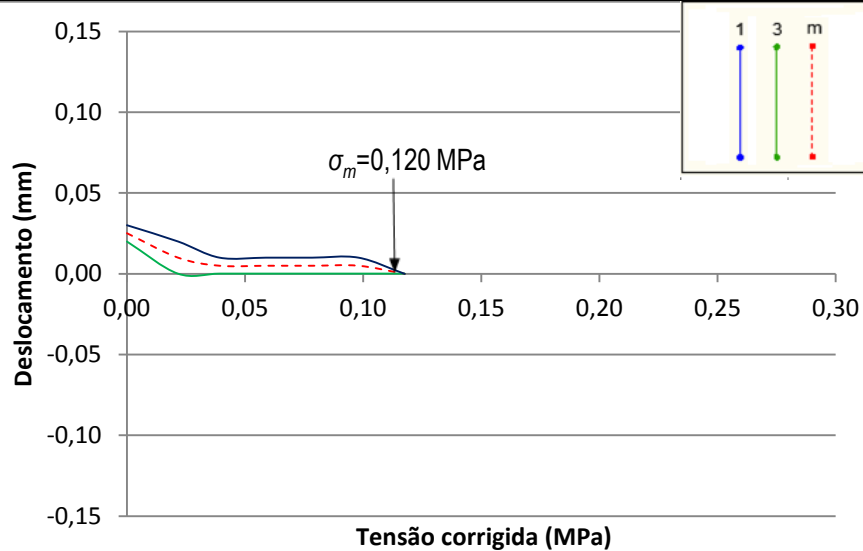


Figura 52: Estimativa de tensões instaladas para o ensaio simples nº 8

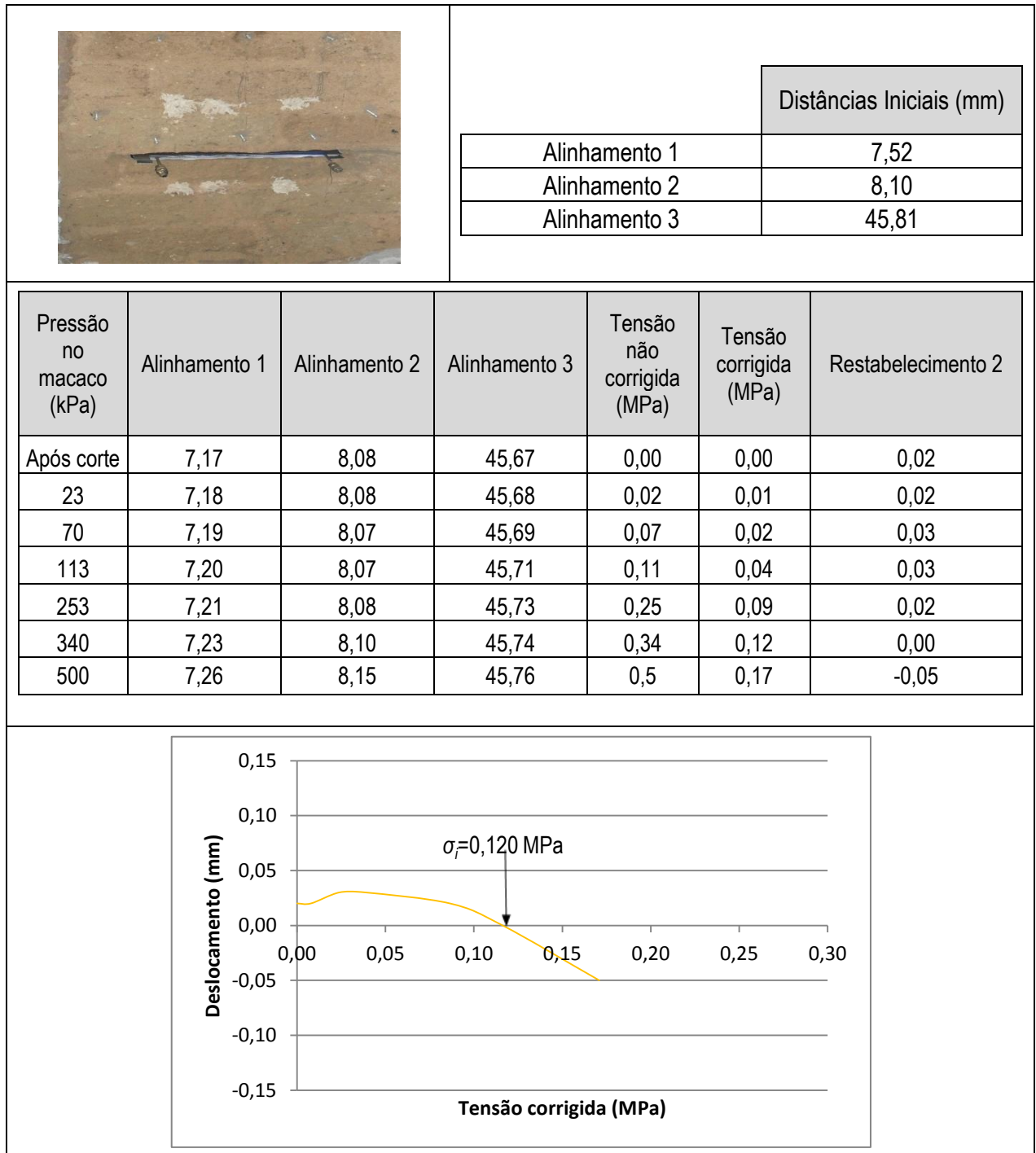


Figura 53: Estimativa de tensões instaladas para o ensaio simples nº 9

Anexo D

Ensaio duplo com macacos planos

Anexo D – Ensaios duplos com macacos planos

Neste anexo são apresentados os resultados dos valores para os ensaios com duplos macacos planos. No capítulo 5 foram apresentados os resultados para os ensaios nº 1,2 e 3 realizados no edifício A, sito na Rua Aires Barbosa nº 13. Por uma questão de apresentação simples e sintética, utilizaram-se as tabelas realizadas por [10]. Este autor utiliza uma exposição dos resultados segundo a seguinte forma (Figura 54):

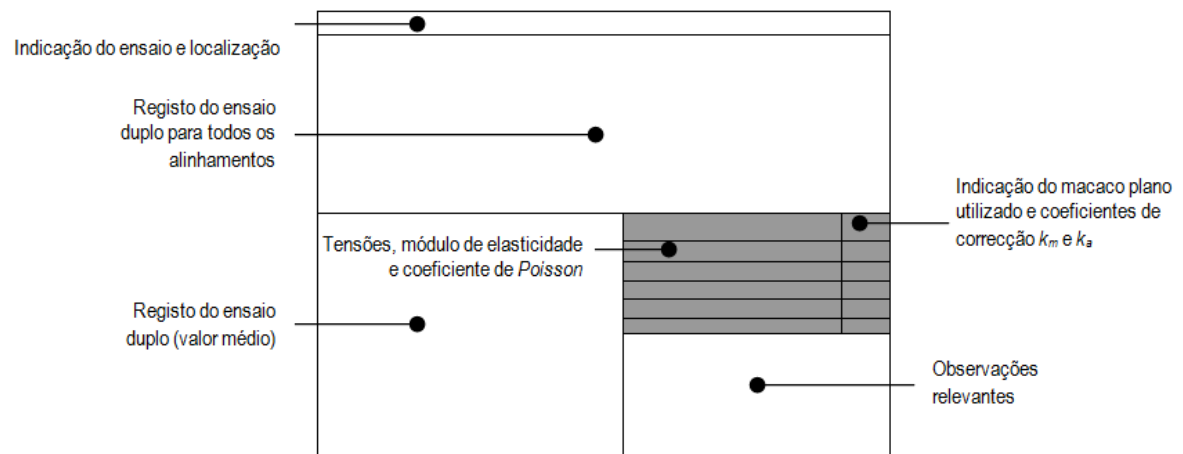
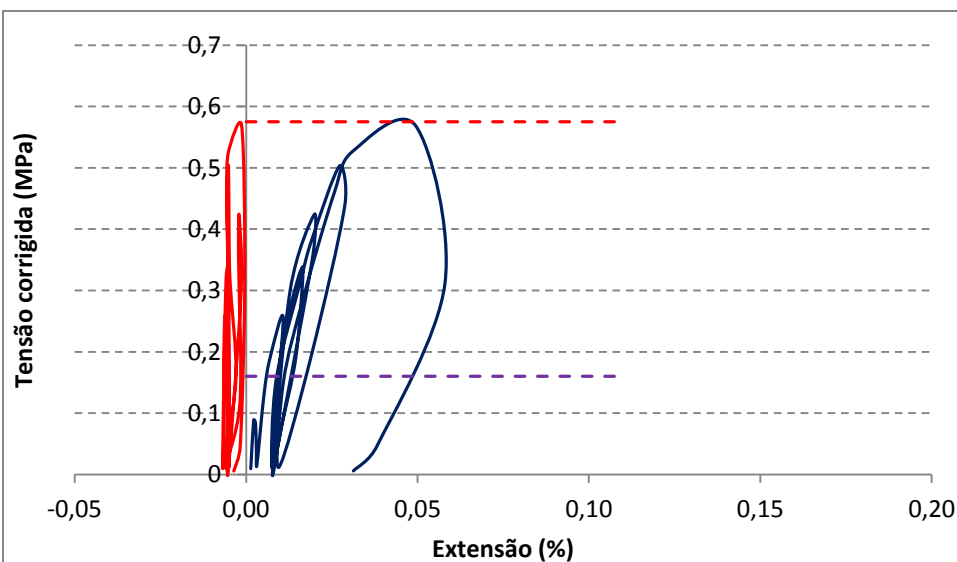
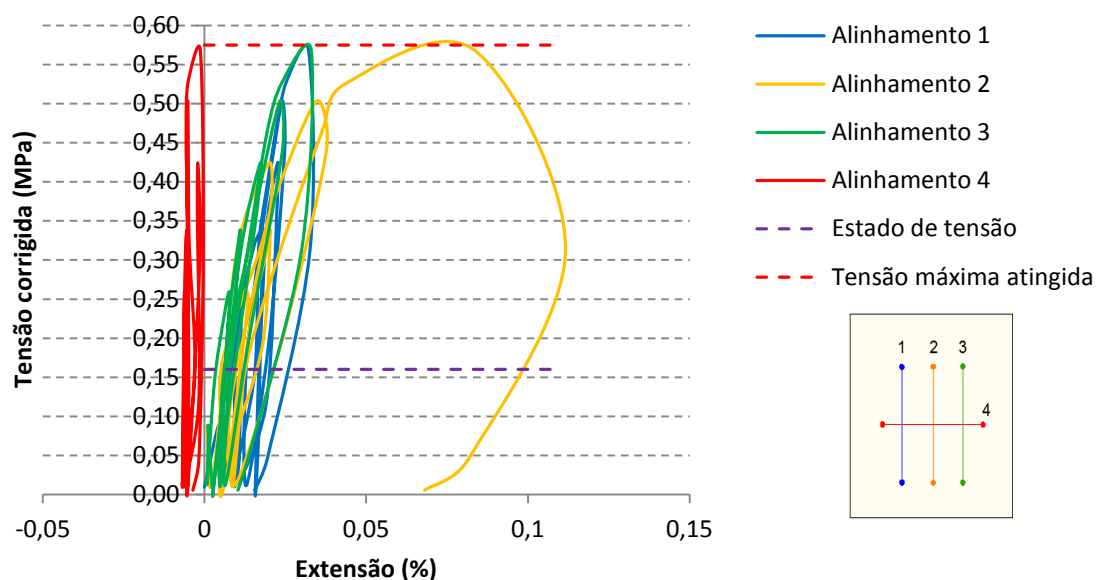


Figura 54: Esquema de apresentação dos resultados dos ensaios duplos



Ensaio duplo nº 4 - Rua Mário Sacramento, nº84, Aveiro

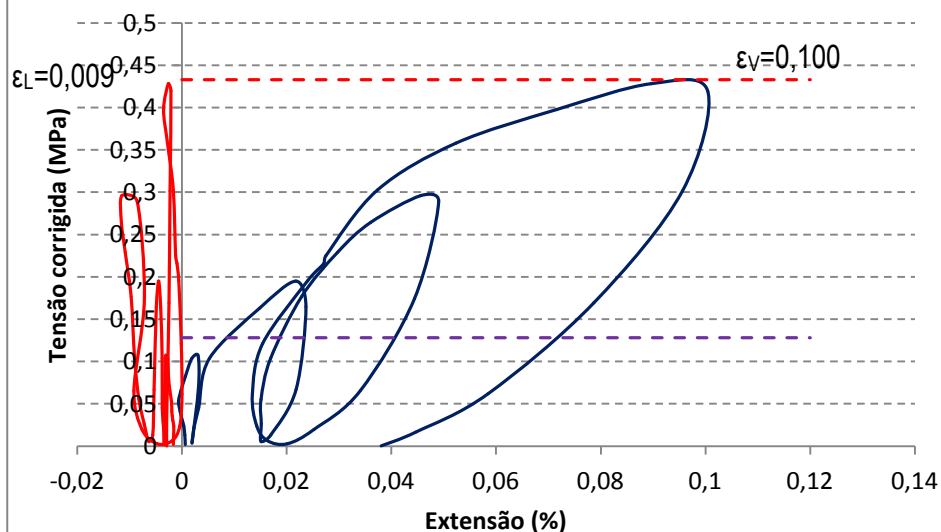
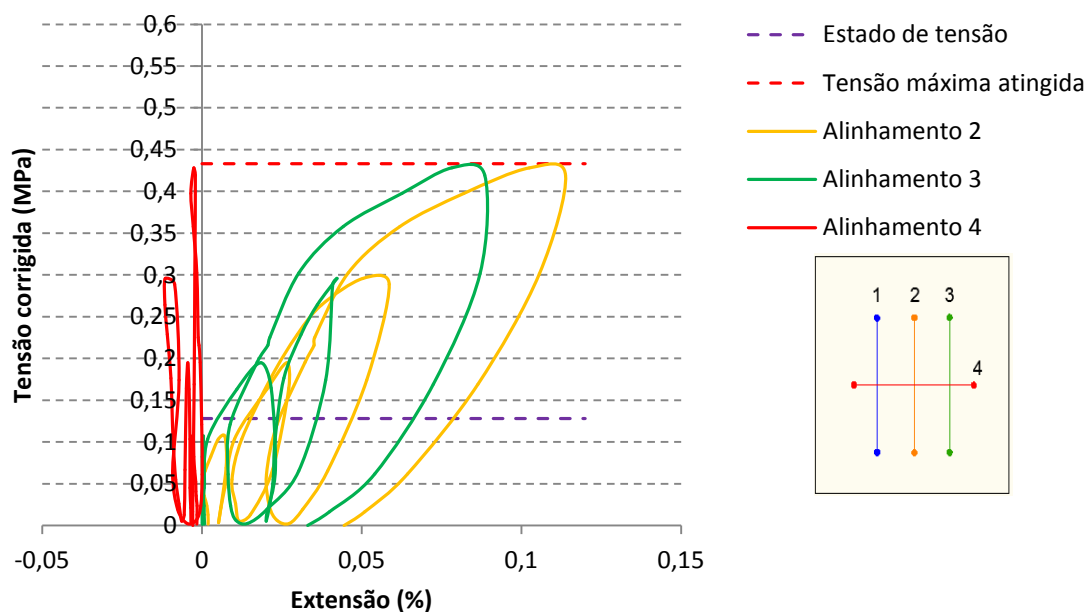


Macaco inferior	$k_a=0.558$	Macaco superior	$k_a=0.540$
MR4	$k_m=0.735$	MR5	$k_m=0.817$
Tensão máxima atingida (MPa)			0.580
Tensão <i>in-situ</i> , σ_i (MPa)			0.160
Módulo de elasticidade, E_0 (MPa)			1822.000
Coef. de Poisson (regime elástico)			---

Observações:

1 – Não foi possível determinar o coeficiente de Poisson através da relação entre ϵ_l e ϵ_v , devido aos valores do deslocamento horizontal não terem significado.

Figura 55: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 4



Macaco inferior	$k_a = 0.623$	Macaco superior	$k_a = 0.592$
MSC1	$k_m = 0.800$	MSC3	$k_m = 0.814$
Tensão máxima atingida (MPa)		0.433	
Tensão <i>in-situ</i> , σ_v (MPa)		0.128	
Módulo de elasticidade, E_0 (MPa)		1076.0	
Coef. de Poisson (regime elástico)		0,109	

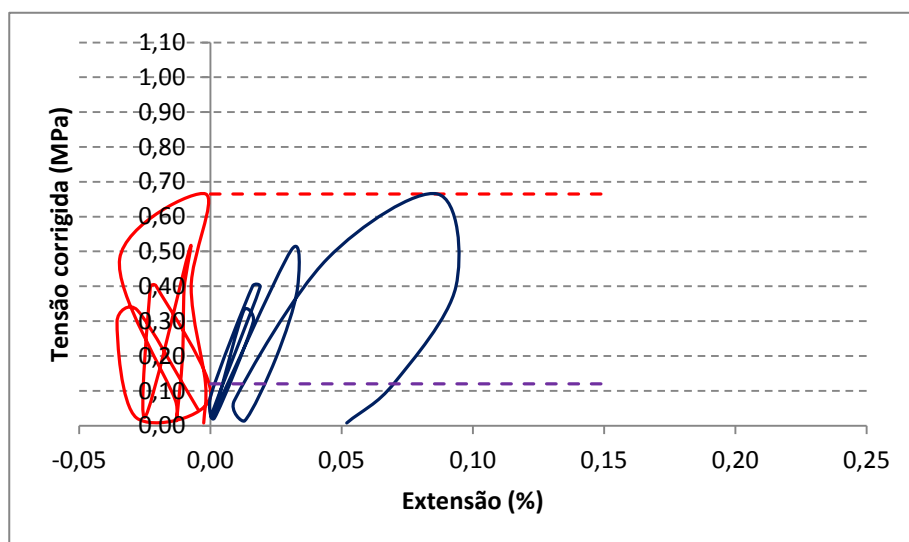
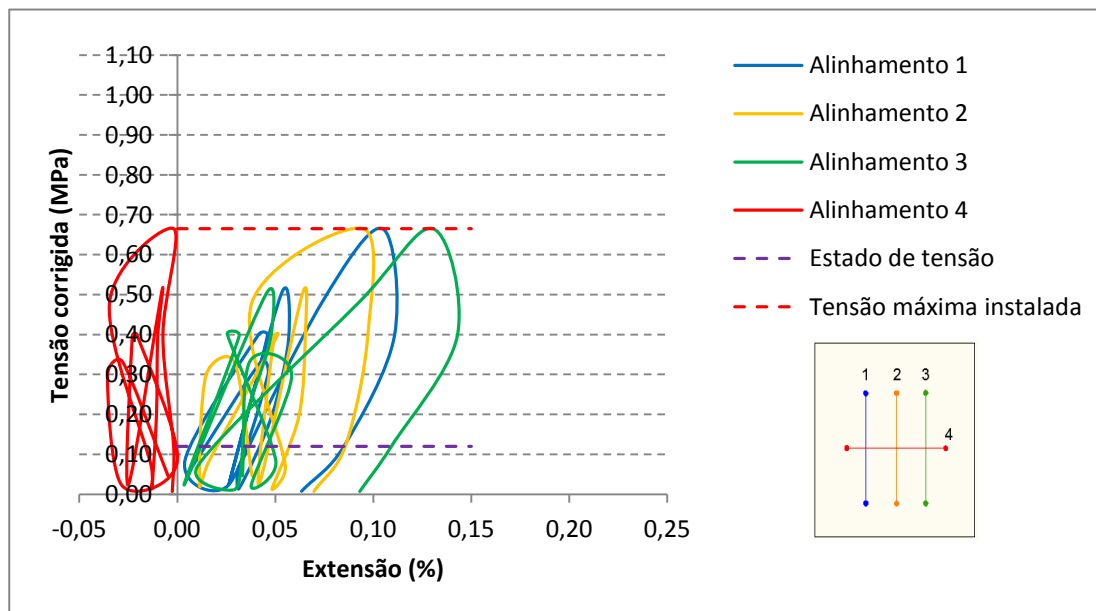
Observações:

1 - Não se consideraram os valores do alinhamento 1 pela sua falta de significado.

2 - Foi possível determinar o coeficiente de Poisson através da relação entre ϵ_l e ϵ_v , extensão lateral e extensão média vertical (Extensómetros 2-3) respectivamente.

Figura 56: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 5

Ensaio duplo nº 6 - Rua Direita s/n, Requeixo

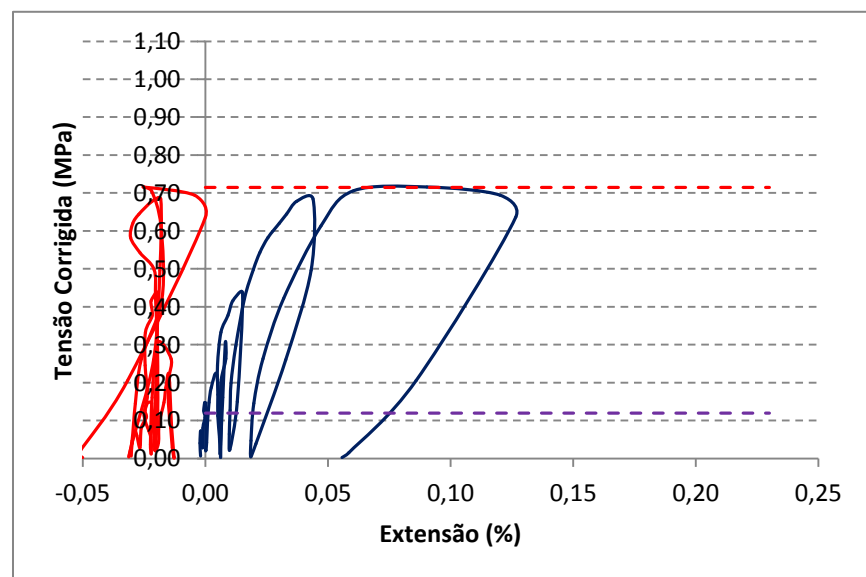
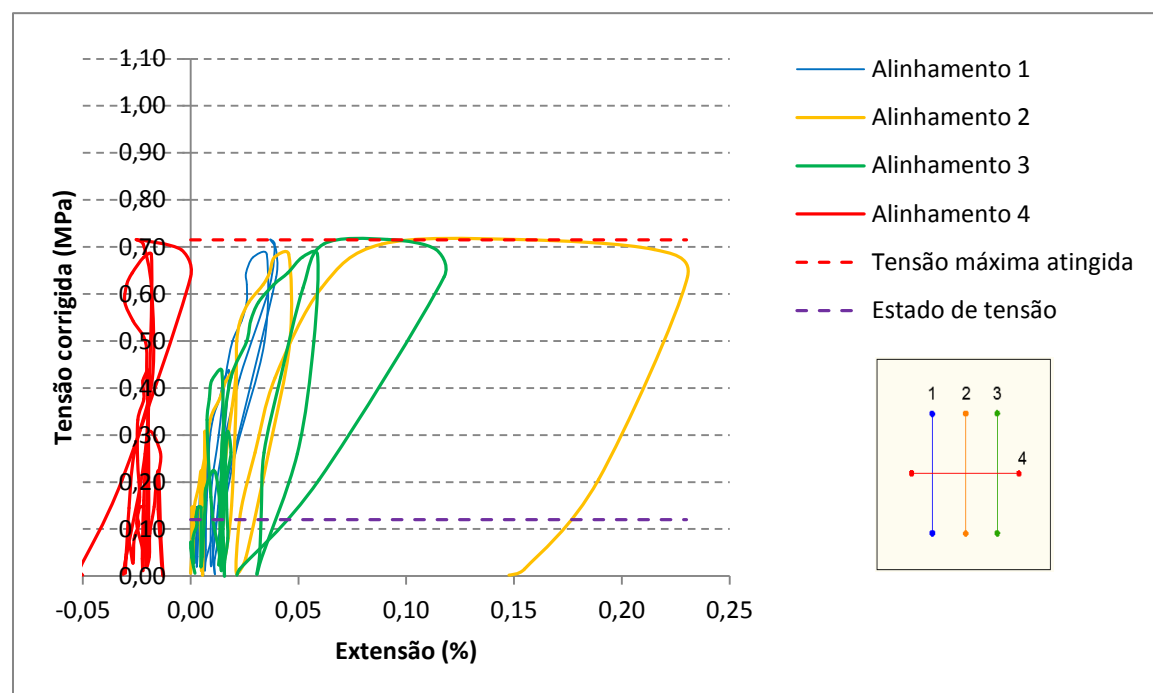


Macaco inferior	$k_a=0.514$	Macaco superior	$k_a=0.563$
MR4	$k_m=0.735$	MR5	$k_m=0.817$
Tensão máxima atingida (MPa)			0.665
Tensão <i>in-situ</i> , σ_i (MPa)			0.110
Módulo de elasticidade, E_0 (MPa)			228.0
Coef. de Poisson (regime elástico)			----

Observações:

1 – Não foi possível determinar o coeficiente de Poisson através da relação entre ϵ_l e ϵ_v , devido aos valores do deslocamento horizontal não terem significado.

Figura 57: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 6



Macaco inferior MSO2	$k_g=0.568$ $k_m=0.886$	Macaco superior MSO4	$k_g=0.560$ $k_m=0.625$
Tensão máxima atingida (MPa)			0.715
Tensão <i>in-situ</i> , σ_i (MPa)			0.120
Módulo de elasticidade, E_0 (MPa)			2565,300
Coef. de Poisson (regime elástico)			---

Observações:

1 – Na fase final do ensaio para valores próximos da tensão máxima atingida verificou-se fendilhação da alvenaria de adobe.

2 – Não foi possível determinar o coeficiente de Poisson através da relação entre ϵ_l e ϵ_v , devido aos valores do deslocamento horizontal não terem significado.

Figura 58: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 7

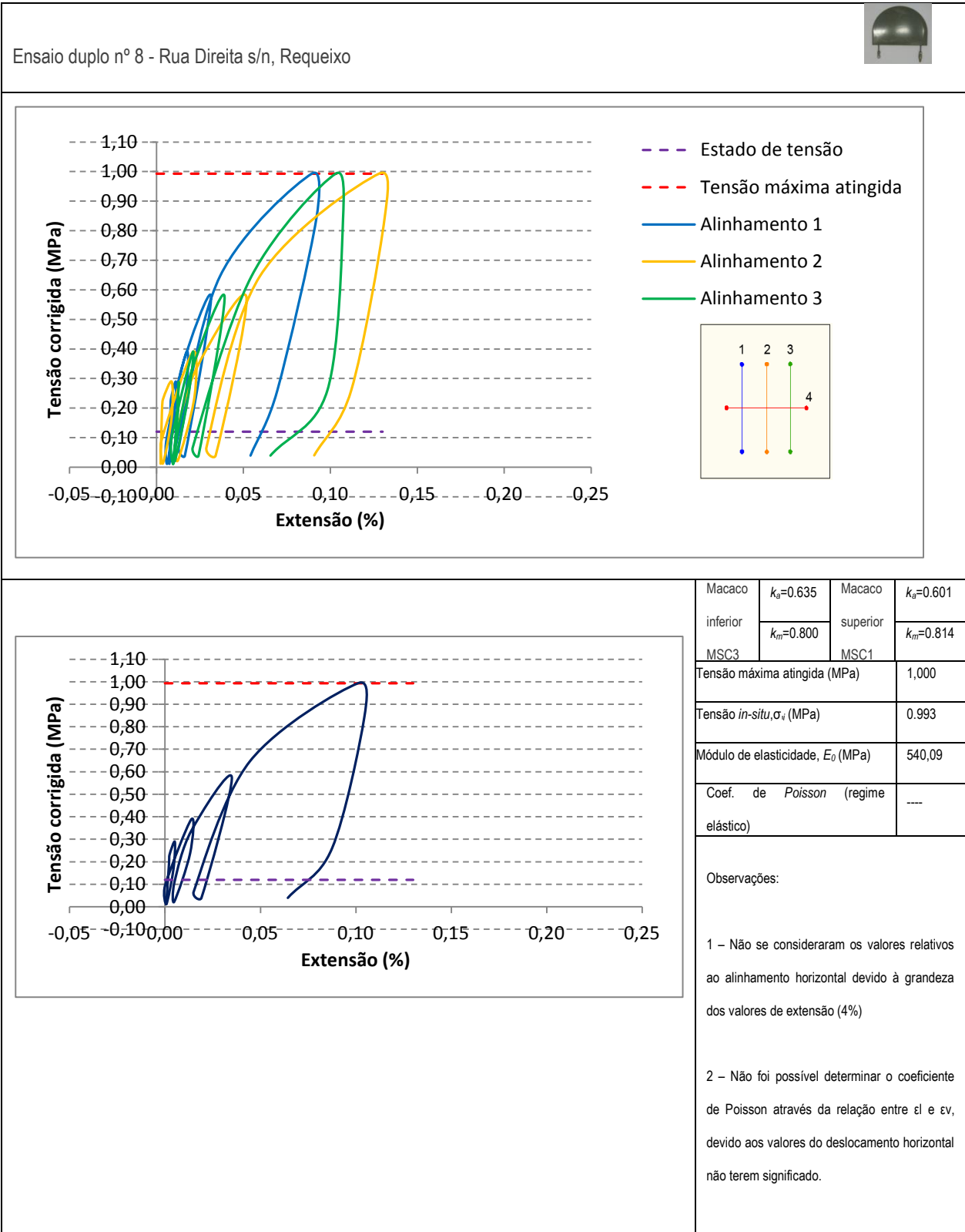


Figura 59: Resultados obtidos para o ensaio duplo nº 8